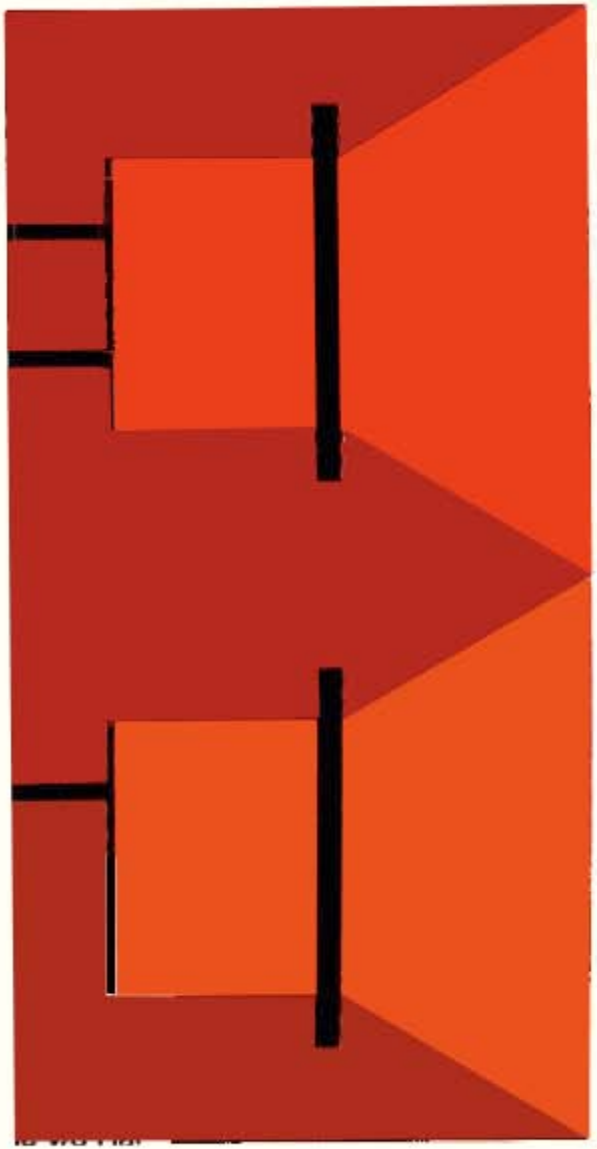


TOPP 35

Hans Dieter Heck

Stereoanlagen

TOPP-Reihe »Elektronik« 35

Hans-Dieter Heck

Stereoanlagen

Verlag Frech Stuttgart -Botnang

© 1970

Verlag und Druckerei M. Frech
7 Stuttgart 1 (Botnang)

Wissenschaftliche Assistenz:
Dipl.-Ing. O. Kilgenstein

Druck: Frech, Stuttgart-Botnang

Inhalt

Warum Menschen und Säugetiere zwei Ohren haben 8
Die doppelten Wege der Stereotechnik 9
Lautsprecher rechts und links 10
Hi-Fi 12
Gegenkopplung 14
Stereo-Batterieverstärker 16
Der Vorverstärker 18
Der Balanceregler 20
Das Klangregel-Netzwerk 21
Endverstärker 21
Der Aufbau des Vorverstärkers mit Klangregel-Netzwerk 25
Stromversorgung 26
Einfache Lautsprecherboxen 27
Röhren-Stereo-Verstärker 29
Tonfilter 34
Die Stromversorgung 35
Eingangsschaltungen 38
Lautsprecher und Lautsprecherkombinationen 42
Schallwand und Boxen 45
Hochwertige Lautsprechersysteme 47
Stereo-Decoder 56
Industrie-Bausteine 58
Hi-Fi im Selbstbau 59
Eisenlose Hochleistungsendstufe 60
Stromversorgung mit Autoakkus 66
Kompletter Hi-Fi-Stereo-Verstärker mit Transistoren 67
Der Hauptverstärker 72
100-Volt-Technik 77
Die Grenzen der Stereophonie 80

Stereo ist ein Modewort. Technisch Unbelastete meinen, Stereo-Anlagen seien komplizierte Apparaturen, hinter denen eine raffinierte Idee stecke.

Mit dieser Vorstellung können wir gleich aufräumen: Stereo ist keine technische Raffinesse, hat keinen doppelten Boden, schafft keine Sinnestäuschungen und falschen Effekte. Alles ist echt. Und kompliziert ist es auch nicht.
Obwohl Stereo ein Modewort wurde, wissen wenige, um was es sich exakt handelt. Einer meiner Bekannten kaufte sich gegen einen Geldschein mit einer Eins und drei Nullen eine Stereo-Anlage und stellte beide Lautsprecher auf ein Bücherbrett. Dort paßten sie gut hin, innenarchitektonisch. Der Mann hat Geschmack. Aber daß da kein Stereo herauskommen kann, werden Sie verstehen, wenn Sie die nächsten Seiten gelesen haben.

So geht das nicht. Wenn es bei Stereo eine besondere Schwierigkeit gibt, so ist es die, den Frauen klarzumachen, daß die Lautsprecher im Zimmer nicht dort stehen dürfen, wo sie am besten zum Mobiliar passen, sondern wo es schalltechnisch notwendig ist. Wenn aber alle genau wüßten, was schalltechnisch notwendig ist, würde es niemand mehr hinnehmen, wenn auf einer Musikbox chromglänzend „Stereo" steht. Und wenn auf einem einfachen Plattenspieler mit zwei kleinen Lautsprechern links und rechts das Wort „Stereo" prangt, ist das auch nicht glaubhafter. Stereo ist nicht nur ein Modewort, sondern bezeichnet eine neuartige Übertragungstechnik, die mehr verlangt, als nur einen Stereoverstärker. Sie stellt bestimmte Forderungen an die Schallausbreitung. Die Stereotechnik ist der erste wirklich echte Fortschritt in der Übertragungstechnik seit der Einführung des UKW-Rundfunks vor 15 Jahren.

Warum Menschen und Säugetiere zwei Ohren haben

Trotzdem ist die Stereophonie ein alter Hut. Sogar ein uralter. Ich bin kein Anthropologe und mit dem Neandertaler nicht näher bekannt. Dennoch weiß ich, daß dieser Herr bereits stereophon gehört hat. Weil er nämlich zwei Ohren hatte, ganz genau so wie Sie und ich, die Pferde und die Hasen.

Die zwei Ohren sind nicht dazu da, daß der Hut nicht zu tief rutscht, sondern damit man räumlich hört. Der Schall, der von rechts kommt, trifft aufs rechte Trommelfell ein ganz klein wenig stärker und früher als aufs linke. Aus den etwas unterschiedlichen Schalleindrükken im linken und im rechten Ohr rechnet sich dann das Gehirn aus, daß der Schall von rechts kommt: es entsteht ein räumlicher Schalleindruck. Und dies können auch Gehirne, die keine Elektronenrechner ausdenken können, sehr exakt, was zum Beispiel daraus zu ersehen ist, wie aufmerksam ein Pferd seine Ohrwascheln dreht, wenn es etwas hört. Nun ist dies räumliche Hören gar nicht mehr so wichtig für den Menschen, der sich als Bücherrevisor, Kunsthonigvertreter oder Autoingenieur durchs Leben schlägt, es sei denn, er betätige sich als Oberkellner in notorisch überfüllten Restaurants. Wenn er des Sonntags durch die Landschaft tigert und den Stimmen der Natur lauscht, ist das räumliche Hören Luxus, ohne den man auskäme. Da die Polizei das Hupen verboten hat, kann das räumliche Hören den Zivilisationsmenschen auch kaum mehr vor drohenden Gefahren warnen. Dies alles deutet darauf hin, daß die Stereophonie für den Neandertaler weitaus lebenswichtiger war als für uns. Aber dennoch wäre ohne räumliches Hören kein Raumeindruck mit den Ohren festzustellen, keinerlei Akustik, die einer Orchesterdarbietung den einmaligen Reiz gibt und nicht mit Noten festgehalten werden kann. Und die berühmte Mailänder Scala wäre ein ganz gewöhnlicher Musikschuppen, was sie äußerlich ja auch ist.

Jetzt sind wir bereits dabei, den eigentlichen Zweck der Stereotechnik klarzumachen, ohne Rücksicht auf Propagandasprüche und Anspielungen auf ihren Prestige-Wert: sie will auch die räumliche Klangcharakteristik einer Darbietung, die Akustik, die räumliche Gliederung einer Klangquelle und eines Orchesters, neben den eigentlichen Tönen naturgetreu mit übertragen. Sie will nichts vortäuschen und hinzufügen, keine Effekte erzeugen oder elegante Tricks anwenden, sondern eine Darbietung so übertragen und wiedergeben, wie sie ein Mensch hören würde, wenn er anstelle der Mikrofone vor der Original-Klangquelle säße.

Das kann man aber nicht mit einem Lautsprecher erreichen, denn damit wäre die Übertragung monaural — einohrig. Aber doch nicht so, wie sie sich für Zuhörer mit nur einem Ohr anhören würde. Wenn Sie

sich mal ein Ohr ganz fest zuhalten, werden Sie bemerken, daß Sie dann eine Stimme nicht aus der Richtung des offenen Ohres empfinden, sondern so, als käme sie ganz unbestimmt aus allen Richtungen des Raumes. Das ist monaurales Hören. Da aber der Mensch zwei Ohren hat, hört er genau, wo der Lautsprecher steht, aus dem die Töne kommen. Das würde fürchterlich unnatürlich wirken, wenn wir uns in 40 Jahren Rundfunk nicht längst daran gewöhnt hätten. Denn daß der Rundfunksprecher nicht im Lautsprecherkasten sitzt, wissen wir, und daß die Töne aus der Mailänder Scala nicht mehr die Akustik der Mailänder Scala haben können, wenn sie genau ortbar aus einem Loch in einer Zimmerecke kommen, ist selbstverständlich. Sie haben dann eben — auch bei größter Wiedergabequalität — die Akustik einer einzigen Schallquelle.

Die doppelten Wege der Stereotechnik

Bei der Stereotechnik wird der Schall genau so übertragen wie seither gewohnt. Nur geht alles doppelt. Im Aufnahmeraum stehen zwei Mikrofone, als Stellvertreter der Ohren des Zuhörers. Das, was jedes Mikrofon aufnimmt, wird vollkommen getrennt von der Aufnahme des anderen Mikrofons verstärkt und übertragen und kommt schließlich auf einen eigenen Lautsprecher. Ein Lautsprecher rechts vom Zuhörer gibt die Aufnahme des rechten Mikrofons wieder, ein zweiter Lautsprecher links vom Zuhörer die Aufnahme des linken Mikrofons. Es gibt also zwei völlig selbständige Übertragungswege. Sie heißen Kanäle.
Zwei gleichartige Einzelverstärker könnten ohne weiteres als Stereoverstärker benutzt werden — und in diesem Buch wird auch gezeigt, wie man zwei einzelne Verstärkerbausteine als Stereoverstärker zusammenschaltet. Da es aber unnötig ist, für jeden der beiden Einzelverstärker z. B. ein eigenes Netzteil und ein eigenes Chassis mit Gehäuse zu verwenden, werden bei einem Stereoverstärker einfach zwei Einzelverstärker auf ein gemeinsames Chassis aufgebaut. Aber jeder der beiden Kanalverstärker hat seine eigenen Eingänge und Ausgangskontakte, auch eigene Regelungseinheiten wie Lautstärke-Potentiometer. Sie sitzen aber für beide Verstärker auf einer gemeinsamen Achse, so daß auch beide Verstärker parallel miteinander geregelt werden, wenn man am Knopf dreht.

Theoretisch müßte man für Stereo-Plattenwiedergabe auch zwei Schallplatten haben, die synchron laufen. Vermutlich hat man in Versuchslabors das vor Jahrzehnten auch mal gemacht. Inzwischen wurde eine

viel elegantere Lösung gefunden: Die Aufzeichnungen für den rechten Kanal werden auf die eine Flanke, die des linken Kanals auf die andere Flanke einer einzigen Schallrille eingeschnitten. Sie werden mit einer einzigen Kristallnadel des Tonabnehmers abgetastet. Der Stereo-Tonabnehmer besitzt aber zwei elektrische Systeme. Die Nadel ist so gelagert, daß Nadelbewegungen, die durch die Aufzeichnungen einer Flanke der Schallrille hervorgerufen werden, auch nur eines der beiden Systeme erregen und nur einen Kanal des Stereoverstärkers ansteuern.

Bei der Stereo-Tonband-Aufnahme und -Wiedergabe ist die Sache recht einfach: mit zwei Tonköpfen werden gleichzeitig zwei Spuren auf das Band aufgezeichnet und bei der Wiedergabe gelesen, eine für den rechten, die andere für den linken Übertragungskanal. Beide Köpfe sind so zusammengefaßt, daß ihre Spalte direkt übereinander stehen.

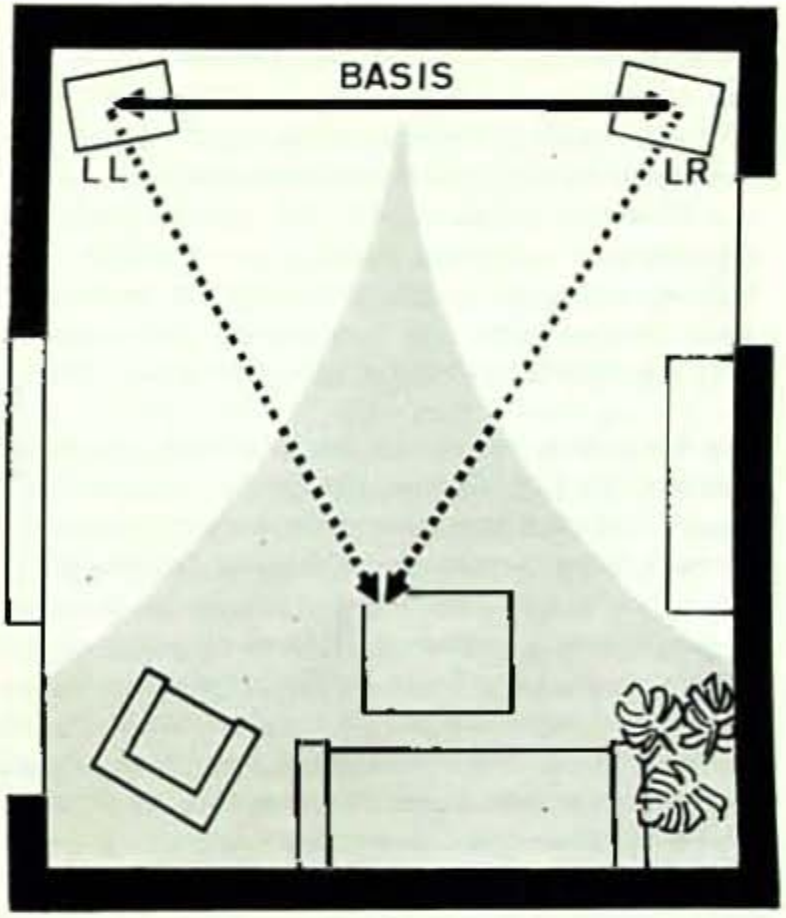
Bei den ersten Stereo-Versuchen wurden zur Rundfunkübertragung zwei Sender benutzt, die mit zwei Empfängern abgehört wurden, mit einem für den linken, mit dem anderen für den rechten Kanal. Daß dies keine vernünftige Lösung war, wußte man schon damals. Der Aufwand für ein Rundfunksystem dieser Art wäre viel zu hoch. Nach dem jetzt eingeführten System wird die Welle eines UKW-Senders bei Stereo-Sendung mit zwei verschiedenen Modulationen und einem Hilfsträger moduliert. Eine Modulation transportiert den rechten, die andere den linken Kanal. Nach HF-Verstärkung im Empfänger werden die beiden Modulationen säuberlich getrennt und auf den zweikanaligen Stereoverstärker gegeben. So erspart man doppelte Sender für ein Programm und kommt mit einem HF-Teil des Empfängers aus. Die Übertragungsqualität von UKW-Stereosendungen übertrifft die allerbester Stereoplatten.

Immer wird bei Stereo-Übertragung das System der zwei getrennten Kanäle, der getrennten Übertragung der Aufnahmen des rechten und des linken Mikrofons, streng gewahrt. Ohne diese zweigleisige Übertragungsbahn gibt es kein Stereo.

Lautsprecher rechts und links

Aber diese getrennte Übertragung genügt noch nicht. Der Stereo-Klangeindruck entsteht erst wieder bei der Schallausbreitung. Dazu müssen die Töne des rechten Kanals in erster Linie das rechte Ohr, die des linken Kanals das linke Ohr des Zuhörers treffen. Am einfachsten geht dies mit einem Stereo-Kopfhörer, dessen eine Ohrmuschel mit dem rechten, die andere mit dem linken Kanalausgang des Stereoverstärkers

verbunden wird. Das ist aber nur eine Lösung für kritisches Abhören von Stereoaufzeichnungen und für Stereo-Fans. Bei Lautsprecherübertragung müssen die beiden Lautsprecher, der für den rechten und der für den linken Kanal, in größerem Abstand von einander aufgestellt werden. Dieser Abstand heißt Lautsprecherbasis. Dieser Basisabstand ist eigentlich kein technisches Problem, sondern eins der Innenarchitektur und des Familienlebens. Wer sich nicht damit befreunden kann, zwei getrennte Lautsprecher an einer Zimmerwand, etwa in Augenhöhe, weit auseinander unterzubringen, sollte die Finger von Stereo lassen. Nahe zusammenstehende Lautsprecher ergeben keine Stereowirkung und machen den ganzen Aufwand mit den doppelten Übertragungswegen wertlos. Selbst der Basisabstand, mit dem man zwei Lautsprecher noch in einer großen Stereo-Musiktruhe unterbringen kann — das sind bestenfalls zwei Meter — ist schon für ein mittleres Zimmer gering. Der Basisabstand sollte etwa so groß sein wie der Abstand des Zuhörers vom rechten und linken Lautsprecher. Ganz wörtlich darf man dies natürlich nicht nehmen. Auch im Konzert sitzt man nicht immer in der Mitte der vorderen Reihen. Aber grundsätzlich ist ein großer Basisabstand immer besser als ein kleiner. Je größer der Basisabstand, um so unkritischer wird die günstigste Sitzposition der Zuhörer. Deshalb sind rechts und links in Geräte eingebaute Lautsprecher für die Ste-



Die Stereowirkung ist raumabhängig. Die beste Stereowirkung ergibt sich an der Spitze der beiden gestrichelten Pfeile. Aber im ganzen grau markierten Bereich zwischen dem Lautsprecher links und dem Lautsprecher rechts ist die räumliche Gliederung der Schallwiedergabe deutlich zu hören.

reowiedergabe im besten Fall eine Notlösung. Eine Stereo-Musikbox mit einem Lautsprecher links und einem rechts in einem Restaurant kann niemals wirklichen Stereoklang abgeben, auch wenn sie mit Stereo-Schallplatten gefüttert wird und einen hochwertigen Stereoverstärker besitzt. Zur echten Stereoanlage gehören unbedingt zwei vom Verstärker getrennte Lautsprecher, die sich möglichst gegenüber einer Sitzecke rechts und links befinden und ungehindert von Möbeln, Vorhängen u. ä. abstrahlen können.

Die Basis bildet mit den Verbindungslinien von jedem Lautsprecher zum Zuhörer ein gleichseitiges Dreieck. An der Spitze dieses Stereo-Dreiecks hört man die Stereowirkung theoretisch am besten. Tatsächlich ist sie jedoch in der ganzen Raumhälfte gegenüber den Lautsprechern zu hören. Bei Stereo-Übertragung erkennt man, wie beim Tischtennis der Ball einmal rechts, einmal links angeschlagen wird und bei einer Opernübertragung der singende Chor von rechts nach links über die Bühne zieht. Das ist überraschend. Aber Stereo erschöpft sich nicht in diesen Ping-Pong-Tricks. In erster Linie wirkt die Empfindung, daß die Töne nicht mehr aus den Lautsprechern kommen. Sie stehen im Raum. Wenn ein Sänger genau in der Mitte vor dem Orchester steht, werden bei der Wiedergabe die einzelnen Tonkomponenten von links und rechts wieder so zusammengebaut, daß der Gesamtton aus der Mitte der Basis zwischen den beiden Lautsprechern zu kommen scheint, wo gar kein Lautsprecher ist.

Da sich der Ton nicht mehr nach dem Standort der Lautsprecher lokalisiert, verliert er seinen Lautsprecher-Charakter. Das ist gar nicht auf Stereo-Wiedergabe beschränkt. Auch Mono-Wiedergabe klingt über zwei Lautsprecher überraschend besser, weil der Ton im Raum schwebt und nicht mehr an einem Lautsprecher klebt. Diesen Effekt kennt jeder, der schon einmal mit zwei Empfängern — etwa mit einem Heimempfänger und einem Kofferradio — gleichzeitig denselben Sender empfangen und sich dabei zwischen beide Geräte gestellt hat.

Hi-Fi

Es gibt Sänger mit schönen Stimmen und welche, die krächzen und ständig heiser sind und trotzdem eine Menge Geld verdienen. Was ist ein guter Ton? Preisfrage für Musikhochschulen. Auch deren Antwort würde gewiß nicht allgemein anerkannt. Konstrukteure von Übertragungsanlagen haben sich nicht mit dieser Frage zu befassen. Sie haben dafür zu sorgen, daß ein Ton, der ins Mikrofon gelangt, bei der Übertragung

über Funk, Schallplatte oder Tonband ohne jede Veränderung wieder aus dem Lautsprecher kommt. Ein schöner Ton soll schön bleiben und ein wüster wüst. Die Übertragungsanlage soll nichts hinzufügen und nichts unterdrücken. Tut sie das, so verdient sie die Qualitätsauszeichnung Hi-Fi. Das ist eine Abkürzung von High Fidelity: wörtlich "große Treue" und bedeutet, daß keinerlei hörbare Verzerrungen und Tonverfälschungen entstehen.

Dies ist nicht so ohne weiteres zu erreichen. Jeder Verstärker neigt zu Verzerrungen. Wenn ich als Kind Milch holen sollte, sang ich auf der Straße laut in die leere Milchkanne. Das klang anders als Gesang ohne Kanne: dumpfer, leerer und bedeutender. Der Hohlraum der Blechkanne unterdrückte hohe Frequenzen der Stimme und gab stärker die Töne seiner Eigenresonanz wieder. Er verzerrte: er nahm etwas weg und fügte etwas eigenes, milchkannenhaftes, dazu. Ähnlicher akustischer Verzerrungen bedienen sich begeistert jene Herrn, die morgens laut im Badezimmer singen, um sich des eigenen Wohlklanges zu erfreuen. Die gekachelten Badezimmerwände und der Hohlkörper der Badewanne geben einen Nachhall, der sogar meine Stimme rund und volltönend macht. Es ist eine Täuschung, kein Hi-Fi, wenn ein Klang künstlich schöner wird. Früher hat man das oft bewußt getan, z. B. bei Musikschränken durch den Resonanzeffekt der Holztruhe für die Baßtöne. Es klang keineswegs schlecht, aber auch nicht echt, sondern nach Holzschallkörper: Bumsbässe.

Ähnliche Tonverzerrungen produziert jedes Übertragungsgerät. Die elektrischen Schwingungen, die im Mikrofon entsprechend den Schallwellen entstehen, erleiden auf ihrem Weg durch das Gerät Veränderungen. Die Schwingungen am Ausgang eines Verstärkers sollen das verstärkte, aber genaue Ebenbild der Schwingungen am Eingang sein. Das sind sie aber niemals, wenn man nicht besonders dafür sorgt. Den Grad der Veränderung nennt man Klirrfaktor.

Verzerrungen entstehen besonders in Röhren und Transistoren, weil die Ströme durch diese Verstärkerelemente nicht vollkommen exakt den Steuerspannungen folgen, wenn sich diese stark ändern. Ferner neigen Transformatoren zu Verzerrungen: sie bevorzugen bestimmte Frequenzgebiete und benachteiligen andere; wenn zu starke Ströme in ihnen fließen, wird der Eisenkern magnetisch gesättigt, analog einer mechanischen Feder, die bereits so stark zusammengedrückt ist, daß sie nicht mehr weiter nachgeben kann. Im Transformator werden dann die Schwingungen beschnitten. Dafür entstehen neue Schwingungsspitzen, wo sie nicht hingehören: es klirrt.

Die Hi-Fi-Technik ist keine grundsätzlich neue Technik. Prinzipiell werden auch Hi-Fi-Verstärker wie eh und je aufgebaut. Man versucht aber, alle Ursachen für Verzerrungen sorgfältig zu vermeiden. Man nutzt die

Verstärkerelemente nicht so weit aus, wie es an sich möglich wäre. Man verzichtet auf höchste Verstärkung und nimmt lieber mehr und stärkere Röhren und Transistoren, um die notwendige Gesamtverstärkung zu erreichen. Der Klirrfaktor nimmt immer sehr rasch mit höherer Auslastung des einzelnen Verstärkerelements zu. Mit beinahe zugedrehtem Lautstärkeregler ist fast jedes Gerät annähernd ein Hi-Fi-Gerät.

Gegenkopplung

Verzerrungen jeder Art lassen sich weitgehend durch Gegenkopplung reduzieren. Bei der Rückkopplung wird ein Teil einer verstärkten Schwingung wieder auf den Eingang der Schaltung so zurückgeführt, daß sich die Steuerspannung verstärkt. Da in jeder Schaltung immer ein bestimmtes Frequenzgebiet bevorzugt verstärkt wird, kann praktisch jede Schaltung durch besonders starke Rückkopplung zu Eigenschwingungen auf diesem bevorzugten Frequenzgebiet gebracht werden. Das ist auch den jüngsten Radiobastlern nichts Neues. Daraus folgt, daß man durch das Gegenkoppeln, dem genauen Gegenteil vom Rückkoppeln, die Bevorzugung eines bestimmten Frequenzgebietes vermeiden kann. Bei der Gegenkopplung wird ein Teil der Ausgangsspannung so auf den Eingang der Schaltung zurückgeführt, daß die Steuerspannung abgeschwächt wird. Natürlich werden dabei auch alle entstandenen Verzerrungen gegengekoppelt und wirken auf die Steuerspannung abschwächend. Jede Verzerrung nach der einen oder anderen Seite wird durch die Gegenkopplung in ihr Gegenteil verwandelt, so daß die beiden Verzerrungskomponenten sich dann praktisch aufheben.
Gegenkopplung verringert aber den Verstärkungsgrad einer Schaltung. Das muß durch zusätzliche Verstärkerelemente wieder ausgeglichen werden.
Betrieb der Verstärkerelemente mit reduzierter Leistung und Gegenkopplung garantieren eine gleichmäßige Verstärkung aller Frequenzen von tiefsten Bässen bis zu den Schallwellen oberhalb des Hörbereichs und die Unterdrückung von Verzerrungen. Zu erreichen ist das nur durch einen höheren Aufwand. Hi-Fi-Geräte sind niemals sparsam aufgebaut.
Obwohl 50 mW Lautsprecherleistung bereits Zimmerlautstärke ergeben, braucht man für Wiedergabe hoher Qualität rund 2 bis 3 Watt Ausgangsleistung, um Bässe und hohe Frequenzen hörbar zu machen. Besonders die tiefen Frequenzen haben ihre Tücken: diese Töne tragen nicht. Die Bässe müssen sehr viel mehr verstärkt werden als die übrigen Frequenzen, sonst bleiben sie unhörbar. Wenn man die Lautstärke

zurückdreht, verschwinden immer zuerst die Bässe. Will man trotzdem gute Baßwiedergabe, was ja zur Wiedergabe hoher Qualität gehört, muß man bei reduzierter Lautstärke die Baßverstärkung besonders anheben. Das bedeutet, daß solche Geräte neben der Lautstärkeregelung noch besondere Regler für die Baß- und die Höhenwiedergabe brauchen.

Es gibt keine obere Grenze für die Ausgangsleistung von Stereogeräten hoher Wiedergabegüte. Die Industrie baut heute Geräte mit 50 Watt Ausgangsleistung pro Kanal für den Heimgebrauch. Manche Leute meinen, solche Leistungen seien für Hi-Fi-Stereo-Wiedergabe absolut notwendig. Das stimmt nicht. Ich habe ein Heimstudio-Gerät neben mir stehen. Das höchste an Ausgangsleistung, was ich jemals in einem Zimmer von 5 x 6 m ausnutzen konnte, waren 3,5 Watt pro Kanal. Gemessen. Sonst klopfen die Leute nebenan an die Wand. Einmal habe ich den Verstärker für eine Party im Saal einer Tanzschule mit 16 Tanzpaaren eingesetzt. Da war er halb aufgedreht. 2 x 25 Watt reichen reichlich für die Beschallung der Gartenterrasse eines Cafes. Lediglich ein Argument spricht sachlich für besonders hohe Ausgangsleistungen über 4 bis 6 Watt bei Heimgeräten: Sie werden ständig mit stark reduzierter Ausgangsleistung betrieben. Das reduziert auch die Verzerrungen. Aber die sind bei industriellen Geräten dieser Klasse ohnehin so gering, daß sie keinesfalls mehr hörbar werden.

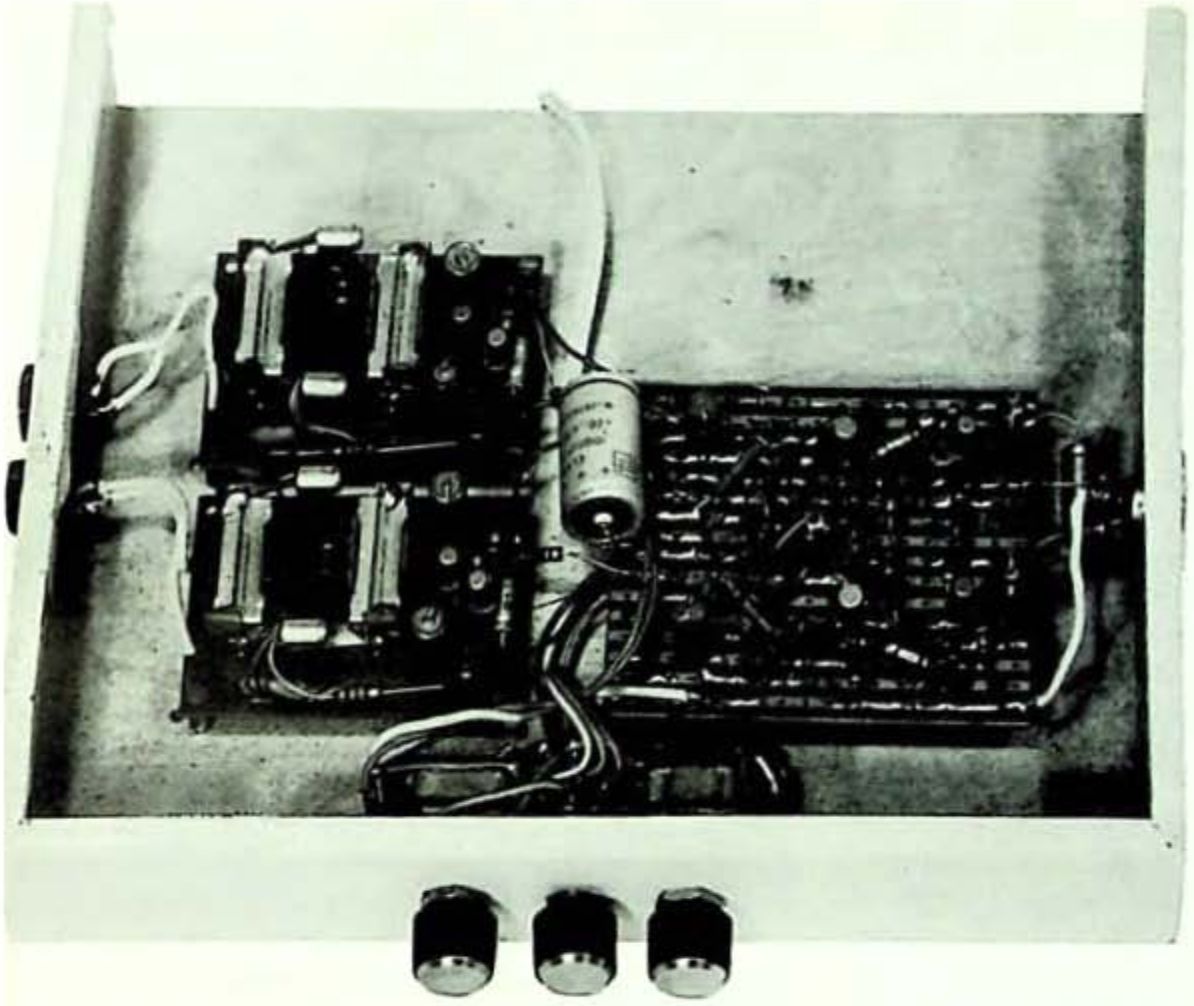
Nur ein Gerät in diesem Buch ist ein Hi-Fi-Gerät in offiziellem Sinn. Was als Hi-Fi bezeichnet werden darf, ist heute genormt, denn ohne Normung wäre die Bezeichnung Hi-Fi nur eine vage Angelegenheit persönlicher Beurteilung. Techniker mögen das nicht. Sie wollen messen. Niemand hat gemessen, in welchen Punkten die Geräte in diesem Buch, mit Ausnahme des Großverstärkers, eventuell die Hi-Fi-Normen erfüllen und in welchen nicht. Es ist durchaus möglich, daß sie es in dem einen oder anderen Punkte tun, wenn sie sorgsam aufgebaut werden. Die Schaltungen sind für hohe und höchste Wiedergabegüte ausgelegt. Es gibt aber eine gewisse Grenze, oberhalb derer man keine weitere Qualitätsverbesserung mit dem Ohr mehr feststellen kann. Ein Klirren unter 1 % kann man nicht mehr hören. Stereo-Fans mit jahrelang geschärftem Gehör hören allerdings bei einer Wiedergabe noch Dinge, die ein anderer nicht mehr feststellen kann.

Die Ansprüche steigen bei längerer Gewöhnung an Wiedergabe hoher Qualität. Wenn Sie nur mit dem einfachsten Gerät dieses Buches eine zeitlang Stereo-Schallplatten gehört haben, werden Sie bald kein älteres Radio mehr ertragen können. Wenn das aber passiert, hat das Buch einen Teil seines Zweckes erfüllt. Es soll nämlich die Ansprüche heben und zeigen, mit welch relativ einfachen Mitteln Anlagen hoher Wiedergabegüte aufgebaut und erweitert werden können.

Stereo-Anlagen sind immer in Gerätegruppen aufgeteilt. Man kann sie deshalb gruppenweise aufbauen und nach und nach entstandene bescheidene Anlagen später nach Belieben ausbauen und erweitern. Für diese Kombinationen eignen sich auch die Geräte dieses Buches. Man braucht sie nicht sklavisch nachzubauen. Man kann sie als praktische Beispiele betrachten, die gegebenenfalls nach Bedarf und Lust variiert werden können, wenn man nur weiß, worauf es ankommt. Aber auch dies sollen die folgenden verschiedenen Verstärkertypen und ihre praktische Anwendung zeigen.

Stereo-Batterieverstärker
für Junggesellenbude, Wochenendhaus und Wohnwagen

Die Bauanleitung für einen Stereo-Verstärker ist kurz und einfach: Man nimmt zwei Transistor-Verstärkerbausteine, wie man sie in vielen Rundfunkgeschäften für 20 bis 25 Mark kaufen kann, schaltet sie zusammen an eine gemeinsame Stromquelle, jeden an einen eigenen Lautsprecher und beide an die Ausgänge eines Stereo-Tonabnehmers.
Das gibt einwandfreien Stereo-Effekt, wenn die beiden Lautsprecher weit genug voneinander entfernt sind. Die beiden Verstärker-Bausteine bilden zusammen den Stereo-Verstärker. Damit kann man Stereo demonstrieren. Aber mehr nicht. Die Tonwiedergabe wird nicht überragend. Aber dies liegt nicht so sehr an den beiden Verstärkerbausteinen, sondern an der Tonregelung. Man kann nicht einmal leiser drehen.
Aber auch ein Lautstärkeregler für jeden Verstärkerkanal genügt nicht. Auch Bässe und Höhen müssen exakt regelbar sein. Folglich muß außer der Lautstärkeregelung noch ein Klangregelnetz vor die Verstärker geschaltet werden.
Das bringt Verluste. Deshalb muß ein Vorverstärker vor das Klangregelnetzwerk, der zunächst mal soviel Dampf bringt, daß man sich eine gute Tonregelung ohne Verlust an Ausgangsleistung erlauben kann.



Blick in die Schaltung des Batterie-Stereoverstärkers. Rechts auf einer Schaltungsplatte Vorverstärker und Tonfilter für beide Kanäle, links die beiden zusammengekoppelten Verstärkerbausteine für je einen Kanal

Eine Baßanhebung und eine Höhenanhebung in wörtlichem Sinne gibt es gar nicht: die Baßanhebung besteht in einer Dämpfung höherer Frequenzen, die tiefen Frequenzanteile klingen dann lauter. Bei der Höhenanhebung ist es umgekehrt.

Das Schaltbild 1 zeigt den Vorverstärker mit dem Klangregelnetzwerk. Es handelt sich um zwei gleiche Verstärker und Netzwerke, für jeden Übertragungskanal einen. Alle Schaltungsteile unter der dicken schwarzen Linie, der Masseleitung, können Sie mit einem Blatt Papier zudecken. Dann haben Sie die Schaltung für einen Kanal vor sich.

Unter dem Strich findet sich haargenau die gleiche Schaltung noch einmal: für den zweiten Kanal. Sie ist auf dem Kopf stehend gezeichnet; die Masseleitung haben beide Verstärkerteile gemeinsam.

Die Schaltung des unteren Kanalverstärkers ist nicht beschriftet, weil alle seine Schaltungsteile jeweils den gleichen Wert haben wie auf dem oberen Schaltungsteil.

Der Vorverstärker

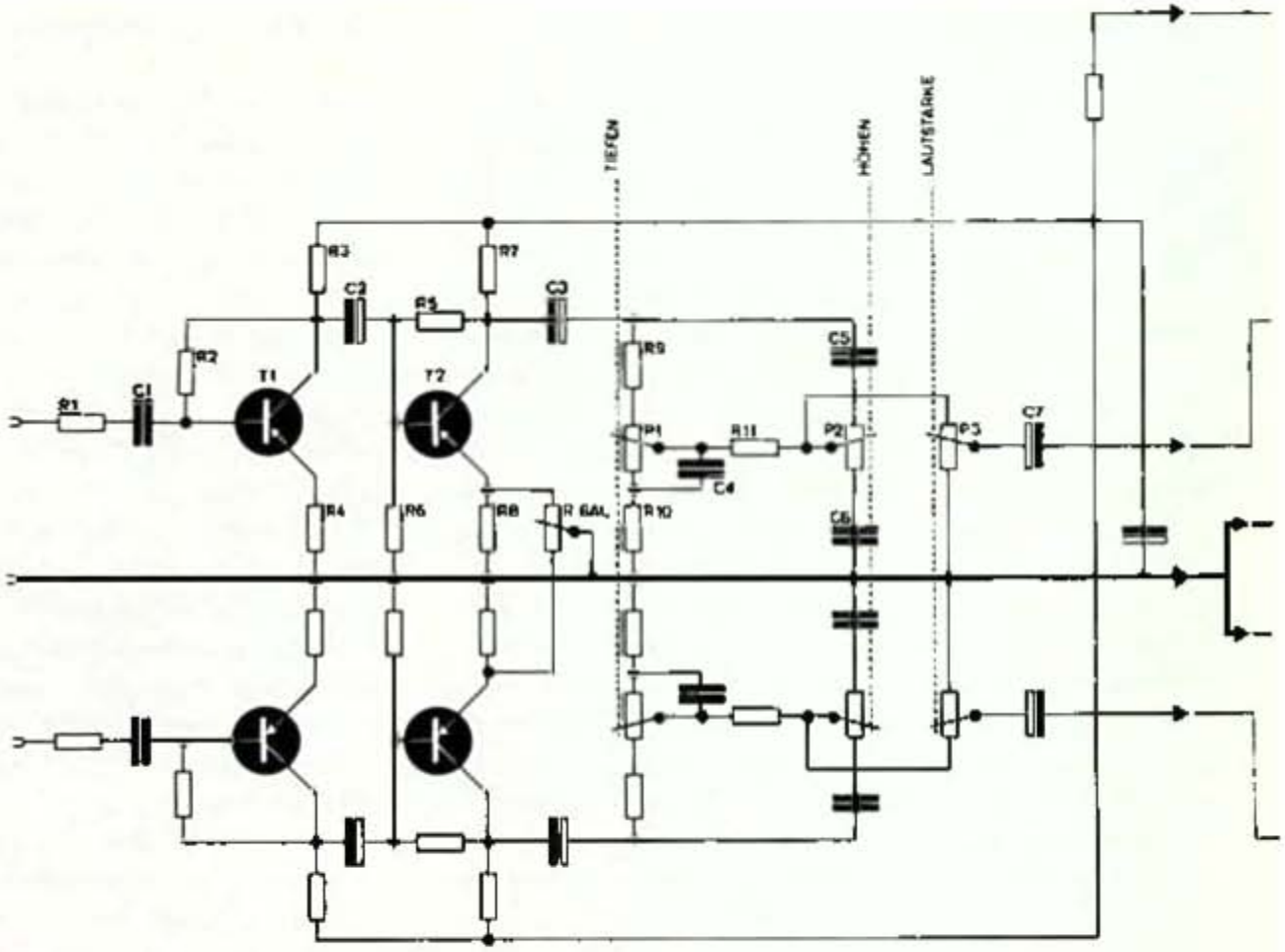
Er ist zweistufig. Sein Eingang ist hochohmig für den Anschluß eines Stereo-Kristall-Tonabnehmers oder auch des Diodenausgangs eines Rundfunkempfängers. Kristall-Tonabnehmer besitzen die meisten einfacheren Plattenspieler. Die Verstärkerstufen zeigen einige Besonderheiten. Die Eingangsstufe besitzt einen hohen, nicht überbrückten Emitterwiderstand. Der reduziert die Verstärkung, ergibt aber neben der Gleichstromstabilisierung eine starke Gegenleistung. Die erhöht den Eingangswiderstand. Der Vorwiderstand für die Basisvorspannung zweigt vom Kollektor vor dem Arbeitswiderstand R 3 ab; Spannungschwankungen an R 3 werden auf die Basis gegengekoppelt. Außerdem stabilisiert dies den Arbeitspunkt. Ein Vorwiderstand von der Basis auf Masse fehlt: der Eingangswiderstand könnte nicht größer sein als dieser Widerstand, welcher der Signalspannungsquelle parallel liegen würde. Die Stufe arbeitet reduziert: Die Spannungsverstärkung ist rund zweifach. Man könnte sie leicht um das Zehnfache erhöhen, wenn man den Emitterwiderstand R 4 auf 500 Ohm verringert. Aber im Eingang liegt ohnehin der Widerstand R 1, um die Eingangsspannung zu reduzieren und Übersteuerung zu vermeiden. Diese erste Stufe dient in erster Linie zur Anpassung an die hochohmige Spannungsquelle. Durch Gegenkopplung reduziert ist auch die Verstärkung der zweiten Stufe; sie liegt allerdings beträchtlich höher als die der ersten. Die Gegenkopplung erfolgt über den Emitterwiderstand, der nicht verblockt ist. Der Basis-Spannungsteiler setzt wie in der Stufe 1 direkt am Kollektor an.

Der Balanceregler

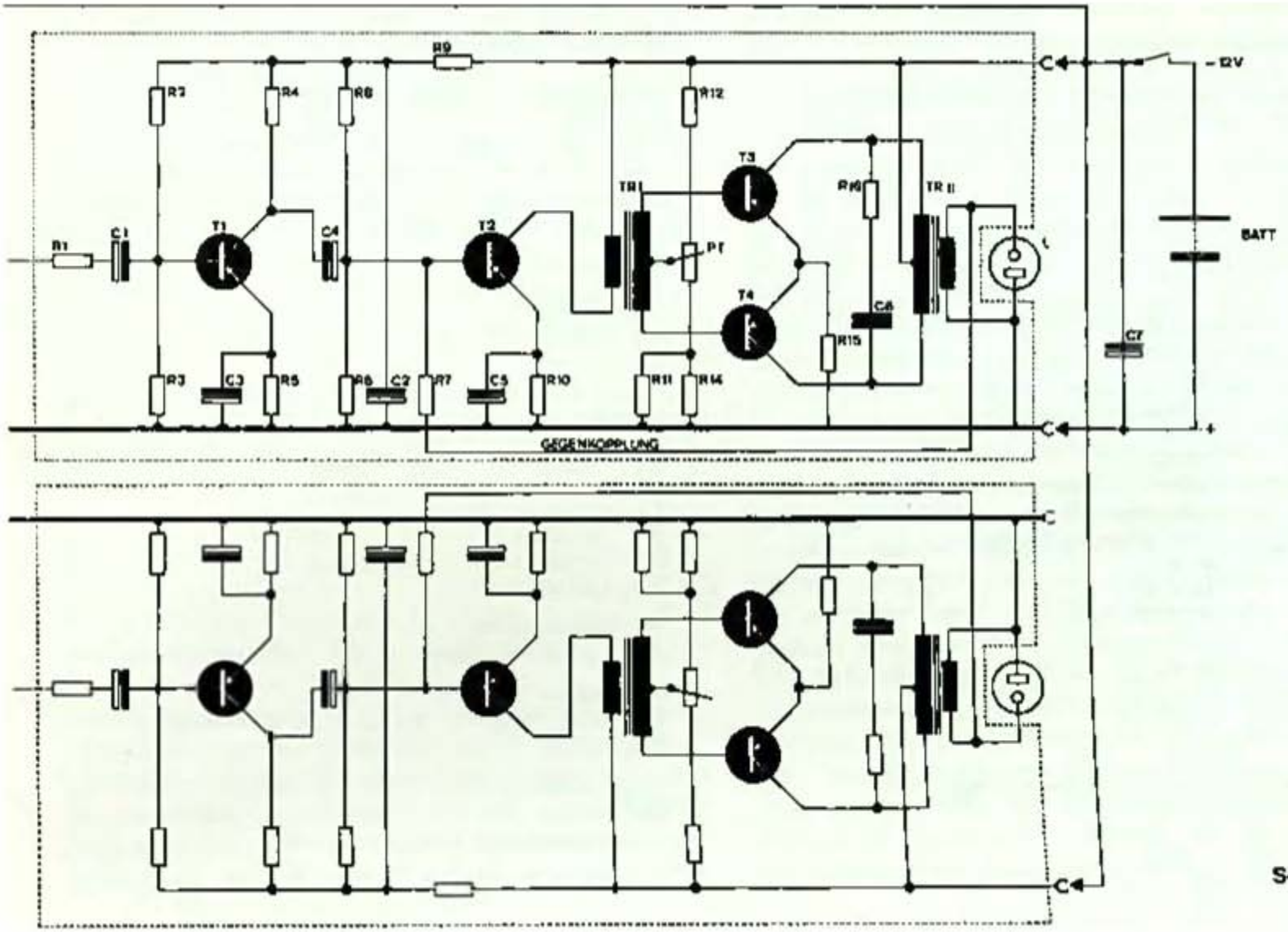
Dem Widerstand R 8 parallel liegt das Pot R BAL, das einzige Bauteil, das die beiden Kanalverstärker gemeinsam haben. Seine Widerstandsbahn führt vom Emitter des Kanalverstärkers oben zum Emitter des Kanalverstärkers unten, sein Schleifer liegt an Masse. Wenn der gerade auf der Mitte der Widerstandsbahn steht, wirkt jeweils die Hälfte des Gesamtwiderstands von R BAL als Parallelwiderstand zu R 8 und R 8'. Durch Verstellen des Schleifers kann man daher den Gegenkopplungsgrad eines Kanalverstärkers erhöhen und den des anderen verringern und so die Verstärkungsgrade der Kanalverstärker ausbalancieren. Deshalb heißt dieses Pot Balanceregler.
Balanceregelung ist notwendig, weil die Verstärkung eines Kanalverstärkers nie exakt gleich dem des anderen ist. Außerdem kann die Schallausbreitung eines der beiden Lautsprecher durch die Möblierung des Raumes gegenüber der des anderen behindert sein, so daß ein Lautsprecher etwas mehr Ausgangsleistung braucht, um gleich laut zu klingen wie der andere. Das läßt sich dann mit dem Balanceregler erreichen.

Das Klangregel-Netzwerk

hinter dem Vorverstärker besitzt drei Regel-Potentiometer: einen für die Höhenregelung, einen für die Tiefenregelung und einen für die allgemeine Lautstärke. Alle drei sind Doppel-Pot, von denen jeweils ein Reglerteil mit dem Netzwerk eines der beiden Kanäle verschaltet ist, so daß beide Kanäle immer miteinander geregelt werden.
Die vom Vorverstärker über C 3 kommende NF findet im Netzwerk zwei getrennte Leitungsbahnen. Die eine führt über R 9, P 1 und R 10 an Masse. Vom Schleifer von P 1 führt ein ziemlich großer Kondensator C 4 an die Verbindung zwischen P 1 und R 10. Der Kondensator hat für hohe Frequenzen einen sehr kleinen Widerstand. Er bildet zusammen mit R 10 eine RC-Kombination, die hohe Frequenzen dämpft. Wenn P 1 aufgedreht wird (Schleifer nach oben) kommt deshalb ein immer stärkerer Anteil an tiefen Frequenzen auf die Leitung zum Lautstärkeregler P 3.
Die zweite Leitungsbahn führt über den kleinen Kondensator C 5 über P 2 und C 6 zur Masse. C 5 hat entsprechend seiner Kapazität einen hohen Widerstand für tiefe Frequenzen. An P 2 wird daher beim Regeln ein mehr oder weniger großer Anteil an hohen Frequenzen abgegriffen.
Mit P 1 und P 2 kann der Anteil der tiefen und der hohen Frequenzen geregelt und für die Wiedergabe



Schaltbild 1



Schaltbild 2

Stückliste zu Schaltbild 1

Transistor-Vorverstärker mit Tonfilter für Batterie-Stereoverstärker

R 1	22 kΩ
R 2	100 kΩ
R 3	5 kΩ
R 4	5 kΩ
R 5	1 kΩ
R 6	50 kΩ
R 7	5 kΩ
R 8	150 Ω
R 9	4,7 kΩ
R 10	500 Ω
R 11	1,5 kΩ
P 1	Tiefenregler Potentiometer 50 kΩ lin
P 2	Höhenregler Potentiometer 50 kΩ lin
P 3	Lautstärkeregler 50 kΩ log
C 1	50 µF/6 V
C 2	10 µF/16 V
C 3	10 µF/10 V
C 4	0,1 µF
C 5	5 nF
C 6	50 nF
C 7	50 µF/10 V

Stromversorgung vom Hauptverstärker

Stückliste zu Schaltbild 2

Hauptverstärker Batterie-Stereoverstärker aus Reuter Bausteinen.
Die in gestrichelten Kästchen gezeichneten Einzelteile sind auf den Schaltungsplatten montiert. Die Schaltzeichnung zeigt auch die Verdrahtung für die Stromversorgung des Vorverstärkers.

Widerstände

R 1	220 kΩ	R 9	560 Ω
R 2	68 kΩ	R 10	220 Ω
R 3	10 kΩ	R 11	56 Ω
R 4	10 kΩ	R 12	1 kΩ
R 5	3 kΩ	R 13	500 Ω Einstellregler
R 6	2,2 kΩ	R 14	50 Ω NTC (Valvo)
R 7	100 kΩ	R 15	1 Ω Widerstandsdraht
R 8	12 kΩ	R 16	100 Ω

Elektrolytkondensatoren

C 1	10 µF/15 V	C 4	25 µF/15 V
C 2	50 µF/15 V	C 5	250 µF/15 V
C 3	50 µF/15 V		

ker. Kondensatoren

C 6	0,1 µF/30 V Waffel	C 7	1000 µF/15 V

Transistoren

T 1	AC 122 grün	T 3, T4	AC 124 Pärchen
T 2	AC 123		

Transformatoren

Tr 1	Hauffe T 713	
Tr 2	Hauffe T 712	handelsüblich

gemischt werden. Eine natürliche, den Originaltönen entsprechende Mischung ergibt sich etwa bei Mittelstellung beider Pots. Aber nur theoretisch — meßtechnisch. Die effektive Wiedergabe hängt neben der Funktion der Endverstärker vor allem von der Charakteristik der Lautsprecher ab. Kleine und billige Lautsprecher haben wegen ihrer kleinen Membranflächen eine schlechte Baßwiedergabe. Bei solchen Lautsprechern muß man den Baßregler bedeutend weiter aufdrehen, um eine kräftige Baßwiedergabe zu erreichen als bei hochwertigen Lautsprecherkombinationen.
Mit dem Klangregler können gewisse Funktionsmängel nachgeschalteter Teile der Anlage weitgehend ausgeglichen werden.

Endverstärker

Im Handel gibt es eine ganze Anzahl von Transistor-Verstärker-Bausteinen, die sich an den Vorverstärker anschließen lassen. Wir wollten zuerst einen Baustein mit eisenloser Gegentaktendstufe verwenden. Es fand sich aber bis jetzt kein solcher Kleinverstärker, der nicht stark verzerrt hätte. Eisenlose Verstärker ohne Trafos sollten eigentlich besonders verzerrungsfrei arbeiten, tun das aber nur, wenn sie sehr sauber getrimmt sind und völlig identische Transistoren verwendet werden. Es scheint, daß sich dies bei Bausteinen für 20 bis 30 Mark nicht rentiert.
Auch heute noch sind Endverstärker in Koffergeräten — von wenigen Ausnahmen abgesehen — mit Transformatoren aufgebaut, selbst die von teueren Hochleistungs-Reisesupern für Weltempfang, wahrscheinlich aus demselben Grund.
Praktisch aufgebaut wurde die Anlage einmal mit Görler-Bausteinen NV 1 und mit Reuter-Bausteinen als Gegentakt-Verstäker. Brauchbar ist jeder moderne Verstärkerbaustein für 1,5 bis 2 Watt Endleistung.
Die Schaltung 2 zeigt die Reuter-Bausteine, wie sie für die Stereo-Wiedergabe zusammengeschaltet sind. Jede Endstufe hat rund 2 Watt Ausgangsleistung. Dies genügt vollkommen für einen kleinen Raum, auch wenn hartgesottene Hi-Fi-Fans das nicht glauben.
Transistorverstärker mit Gegentaktendstufen eignen sich gut zum Messen der effektiven Ausgangsleistung. Man braucht nur in die Zuleitung von der Batterie ein Milliamperemeter zu schalten und zunächst die Stromaufnahme bei zugedrehtem Lautstärkeregler zu messen, also den Ruhestrom, den die Schaltung im Leerlauf aufnimmt. Wenn man bei Wiedergabe irgend eines Tons, z. B. von einer Schallplatte, den Lautstärkeregler aufdreht, steigt die Stromaufnahme, da der Lei-

stungsbedarf eines Gegentaktverstärkers direkt von seiner Ansteuerung und damit auch von der effektiven NF-Leistung abhängt. Die Differenz zwischen Ruhestrom und Stromaufnahme bei Wiedergabe, multipliziert mit der Betriebsspannung, ergibt die effektive NF-Leistung.

Beispiel:

Stromaufnahme bei Wiedergabe	70 mA
Ruhestrom	30 mA
in NF umgesetzt	40 mA = 0,04 A

ergibt eine Leistung bei 12 V Betriebsspannung von $0{,}04 \times 12 = 0{,}48$ W

Mit einigermaßen guten Lautsprechern ist das schon Zimmerlautstärke. Bei Stereo-Wiedergabe muß man jedoch ein Zugeständnis machen: Die Wiedergabe von Bässen erfordert Leistung, ohne daß sie sich direkt in einer allgemeinen Lautstärkeerhöhung auswirkt. Großzügig gehen wir aufs Dreifache, um Bässe und tiefe Töne wiederzugeben, die sonst nicht hörbar werden. Dann haben wir auch erst etwa 1,2 Watt.

In meinem 4 mal 5 m großen Zimmer beginnt meine Frau bei rund 1,4 Watt — das sind 0,7 Watt pro Kanal — zu meutern. Sie ist kein besonders stilles Wesen. Unterhaltungen sind bei dieser Lautstärke nicht mehr möglich. Jeder der beiden Kleinverstärker-Bausteine hat aber eine Ausgangsleistung von rund 2 Watt bei etwa 5 % Klirrfaktor. Unter 1 Watt pro Kanal ist der Klirrfaktor geringer als 2 %. Das bedeutet hohe Klangqualität.

Die Verstärkerbausteine, nach Schaltung 2 zusammengeschaltet, sind Trafo-Gegentaktverstärker mit Treiber und Vorstufe. Alle Transistoren arbeiten in Emitterschaltung. Vor einem Jahrzehnt schon gab es gleichartige Transistorschaltungen. Die Schaltung steht deshalb hier als Beispiel für viele andere kleine Verstärkerschaltungen, die man in gleicher Weise verschalten kann.

Trotzdem hat die Schaltung drei Merkmale, die für eine Tonwiedergabe hoher Qualität wichtig sind. Sie besitzt vor dem Treiber eine Vorstufe. An sich ginge es auch mit dem Treiber alleine. Dann aber müsste der sehr viel stärker belastet werden. Sparsame Auslastung eines Verstärkerelementes reduziert immer Verzerrungen. Von einem Anschluß der Sekundärwicklung des Lautsprechertrafos führt ein Gegenkopplungszweig auf die Basis des Treiber-Transistors. Diese Gegenkopplung arbeitet Verzerrungen besonders im Treiber- und im Ausgangstrafo entgegen. Sie ist daher für eine hohe Wiedergabequalität besonders wichtig. Manche handelsüblichen Verstärkerbausteine haben diesen Gegenkopplungszweig nicht. Für Sprachübertragung, etwa für Gegensprechanlagen, braucht man ihn auch nicht. Er reduziert die erzielbare Ausgangsleistung, die man auf den Prospekt schreiben kann. Für Tonwiedergabe ist aber ein Verstärker mit

nur 1 Watt Ausgangsleistung und kräftiger Gegenkopplung erheblich besser als einer mit 5 Watt ohne Gegenkopplung.
Weiterhin hat der Verstärker gegenüber manchen ähnlichen Schaltungen größere und besser gewickelte Transformatoren. Große Transformatoren sehen zwar blockig und unelegant aus. Aber je kleiner der Transformator, um so geringer ist seine Übertragungsgüte für ein breites NF-Spektrum. Hohe Wiedergabequalität kann nicht durch Miniaturbauweise und höchste Ausnutzung von Transistoren erreicht werden.
An dem Verstärker könnte man noch einiges verbessern. Unter Verzicht auf 10 % der höchsten Ausgangsleistung habe ich die Gegenkopplung verstärkt. Der Wiederstand R 7 von 100 kOhm wurde durch einen von 25 kOhm ersetzt — in beiden Kanälen natürlich. Wie zu erwarten ergab sich noch bessere Wiedergabequalität, vor allem beim Einsatz hart geschlagener Klaviertöne.
Wenn die Schaltung frei nachgebaut wird, ist es wichtig, die Gegenkopplungsleitung am richtigen Anschluß der Sekundärwicklung des Ausgangstrafos anzuschließen. Auf einer Schaltzeichnung kann man diesen richtigen Anschluß nicht darstellen. Zum Anschluß der Gegenkopplung wird das Gerät in Betrieb genommen und eine Schallplatte übertragen. Wenn die Gegenkopplungsleitung mit dem richtigen Trafoanschluß verbunden wird, geht die Lautstärke merkbar zurück. Tut sie das nicht, steigt sie eher an — meist unter Klirren und unangenehmen Verzerrungen — so hat man den falschen Wicklungsanschluß erwischt und eine Rückkopplung statt einer Gegenkopplung erreicht. Der andere Trafoanschluß ist dann der richtige.
Die erste Stufe der Verstärkerbausteine besitzt nur eine Gleichstrom-Gegenkopplung zur Temperaturstabilisierung und Festlegung des Arbeitspunktes. Dynamisch gegengekoppelt ist sie nicht. Die Stufe wird jedoch durch den Dämpfungswiderstand R 16 im Eingang so schwach angesteuert, daß der Arbeitspunkt niemals in den gekrümmten Bereich der Kennlinie rutscht.

Aufbau

Der Vorverstärker mit Klangregel-Netzwerk ist auf eine Experimenta-Schaltungsplatte aufgebaut, der Einfachheit halber auf der Seite der Leitungsbahnen. Die Schaltungsteile sind für beide Kanäle räumlich fast gleich wie auf dem Schaltbild angeordnet. Diese Schaltung wurde mit Abstandsschrauben auf den Boden eines hölzernen Briefablegekastens montiert. Die drei Doppelpots sitzen mit ihren Überwurfmuttern in Durch-

bohrungen einer Seitenwand und sind über Drahtleitungen entsprechend der Schaltung mit dem Netzwerk verbunden. Man braucht hierfür bei einer niederohmigen Transistorschaltung keine abgeschirmten Leitungen. Es ist aber ratsam, für jeden der beiden Kanäle gesondert gefärbte Kabel zu benutzen. Das erleichtert die Übersicht beim Verdrahten. Man braucht immerhin 18 einzelne Kabelchen zwischen Schaltungsplatte und den Pots und das ergibt 18 × 18 Möglichkeiten, etwas falsch zu machen. Neben den Zweikanal-Vorverstärker wurden nebeneinander die beiden Endverstärker ebenfalls auf Abstandsschrauben montiert und mit dem Vorverstärker verdrahtet. Für den Anschluß der Lautsprecher sind in einer Seitenwand des Kästchens zwei Buchsen für Klinkenstecker montiert, an der gegenüberliegenden Seitenwand sitzen zwei Buchsen für dreipolige Tuchelstecker zum Anschluß des Stereo-Plattenspielers und des Diodenausgangs eines Rundfunkgerätes.

Es gibt gewiß anspruchsvollere Methoden des Einbaus, etwa die Montage in ein kleineres Stahlblechgehäuse oder auch in einen kleineren stabilen Karteikasten. Das hat jedoch mit dem Prinzip nichts zu tun. Bei dem Mustergerät ging es darum, die Bausteine so einfach wie möglich einzubauen. Der niedere Kasten wurde weiß gestrichen und mit einem Brettchen abgedeckt, damit man Bücher darauf stellen kann. So steht er jetzt auf dem Bücherbrett

Stromversorgung

Die gesamte Schaltung ist für 12 Volt Betriebsspannung ausgelegt und kann mit Spannungen zwischen 9 und 14 Volt betrieben werden. Unter 9 Volt treten Verzerrungen auf. Bei 13,5 Volt beträgt die Ruhestromaufnahme rund 20 mA und die gesamte Stromaufnahme bei mittlerer Lautstärke im Durchschnitt etwa 50 bis 70 mA. Das ist weniger als die kleinste Taschenlampenbirne braucht.

Der Verstärker kann daher aus drei hintereinandergeschalteten Taschenlampenbatterien mit zusammen 13,5 Volt monatelang betrieben werden. Bei der Erprobung war er rund drei Monate fast täglich in Betrieb, ehe der Batteriesatz erneuert werden mußte. Wegen des relativ hohen Innenwiderstandes einer Trockenbatterie ist der Eingang für die Stromversorgung zusätzlich mit 1000 MF abgeblockt.

Bei diesem geringen Stromverbrauch ist es fraglich, ob sich ein Netzanschluß lohnt. Ein selbstgebautes stabilisiertes Netzgerät kostet mindestens so viel wie Taschenlampenbatterien für 1 Jahr Betrieb. In Wochenendhäusern gibt es oft keinen Netzanschluß. In größeren Wohnwagen kann man den Verstärker an die 12-Volt-Wagenbatterie anschließen, z. B. über die Leitung für die Rückleuchte. Der Stromverbrauch ist so minimal, daß die Wagenbatterie praktisch nicht belastet wird. Beim Gebrauch zu Hause ist die Netz-

stromversorgung eine Frage technischer Perfektion ohne praktische Bedeutung. Verwenden kann man aber als Netzteil ein Akku-Ladegerät für 12 Volt, mit stabilisierter Spannung.

Einfache Lautsprecherboxen

Die Leistung des kleinen Transistorverstärkers ist natürlich begrenzt. Trotzdem wäre es falsch, ihn an einfache Zweitlautsprecher für Küche und Kinderzimmer anzuschließen. Deren Gehäuse sind meist zu klein und schalltechnisch dürftig. Man kann es selbst mit wenig Mühe sehr viel besser machen. An guten Lautsprechern bringt der kleine Verstärker eine Klangqualität, die der normaler Radios überlegen ist.
Hi-Fi-Lautsprecherboxen sind dazu aber nicht grundsätzlich notwendig.
Jeder gute Lautsprecher ist fähig, eine gute Wiedergabequalität zu liefern, wenn er weit weniger als für ihn zulässig belastet wird und schalltechnisch richtig eingebaut ist. Wenn man deshalb zwei gleiche Ovallautsprecher mit je 4 bis 5 Watt zulässiger Belastung wählt, so werden sie auch bei voll aufgedrehtem Verstärker nur relativ schwach belastet.

Es wäre unsinnig, für eine kleine Transistoranlage kleine Lautsprecher zu wählen. Geringe Ausgangsleistung eines Gerätes bedeutet nicht, daß es nur mit einem Lautsprecher entsprechender Belastbarkeit betrieben werden sollte. Ein größerer Lautsprecher ist immer besser. Kleine Transistor-Taschenradios besitzen nur deshalb Miniaturlautsprecher, weil größere Lautsprecher in den kleinen Gehäusen keinen Platz haben. Es ist ein Kompromiß zuungunsten der Klangqualität. Wenn man solch ein Taschenradio probeweise an einen großen Lautsprecher anschließt, klingt es erstaunlich besser und auch lauter.
Die Wattzahl eines Lautsprechers gibt lediglich an, mit wieviel Watt elektrischer Leistung er belastet werden darf, ohne daß er kaputt geht. Sie besagt nicht, daß an ein Gerät niedriger Ausgangsleistung nicht ein Lautsprecher hoher Belastbarkeit angeschlossen werden soll. Das Gegenteil ist der Fall. Für eine Ausgangsleistung von 500 mW kann man noch einen Lautsprecher für 500 mW verwenden. Aber ein Lautsprecher mit 5 Watt gibt die gelieferten 500 mW wesentlich klangreiner und lauter wieder. Der Wirkungsgrad eines Lautsprechers steigt mit seiner Größe und seiner Membranfläche. In dem Kapitel über Lautsprecher wird das näher begründet.
Als Lautsprecher für das Muster des kleinen Transistor-Verstärkers wurden Ovallautsprecher für je 4 Watt benutzt, das Stück zu 22,50 DM. Sie wurden in Kar-

teikästen aus sehr stabilem Karton eingebaut. In die Deckel der Kästen wurden Ausschnitte für die Lautsprecher geschnitten, die Lautsprecher hinter diesen Ausschnitten montiert. Die Ränder der Lautsprecherkörbe wurden auf der Innenseite der Deckel mit Tesakrepp gegen die Deckelflächen abgedichtet. Dann wurden die Deckel von außen mit Lautsprechertuch bezogen. Streckmetall oder perforiertes eloxiertes Messingblech zur Abdeckung der Lautsprecheröffnungen kann zwar gut aussehen, ist aber ungünstig, weil es die Schallabstrahlung beeinflußt und gerne mitschwingt. An den Lautsprechern soll alles so ausgelegt sein, daß Eigenschwingungen verhindert werden.

Deshalb wurden die Kästen soweit mit Schaumgummistreifen gefüllt, daß gerade noch genug Raum für die Lautsprechersysteme blieb, wenn man die Deckel aufsetzte. Diese Füllung dient der Schalldämmung nach hinten und ist sehr wichtig. Mit faserigen Textilstoffen wie Reißwolle oder frischer Putzwolle darf eine Box nur gefüllt werden, wenn der Lautsprecherkorb hinten mit Tuch überzogen ist, weil sonst Textilfasern in den Luftspalt des Lautsprechersystems gelangen können.

Die Ränder der beiden Kästen wurden ebenfalls mit Tesakrepp-Streifen beklebt, so daß die Deckel mit den anmontierten Lautsprechern stramm aufsaßen. Das ergab genügend Luftdichtung. Warum Lautsprecherboxen auf keinen Fall nach hinten Schall abstrahlen sollen, lesen Sie in dem Kapitel über Lautsprechersysteme.

Beim Probebetrieb mit dem kleinen Transistor-Stereo-Verstärker zeigten diese selbstgebauten Boxen gegenüber industriell gefertigten Boxen bei guter Zimmerlautstärke sehr geringfügige Unterschiede der Wiedergabequalität. Ohne genaue Prüfung fallen sie nicht auf.

Ein Lautsprecher ist dann einem Verstärker angepaßt, wenn der Verstärker mit einem noch besseren Lautsprecher keine deutlich bessere Wiedergabe mehr zeigt. Allerdings gibt es keine Lautsprecher, die für einen Verstärker hoher Wiedergabegüte zu gut wären.

Die Grundeinteilung des Stereo-Verstärkers in Vorverstärker, Klangregelnetzwerk und Endverstärker mit Endstufe, wie bei dem kleinen Batterieverstärker, findet man bei allen Stereoverstärkern, gleich welchen Kalibers, wieder. Der Vorverstärker dient zur Anpassung an die Quelle der NF-Schwingung: Mikrofone, Plattenspieler, Tonbandgeräte, Rundfunkempfänger. Er verstärkt die NF so weit, daß hinter dem Regelnetzwerk mit seinen Verlusten noch genug Steuerspannung für die folgenden Stufen bleibt.

Das Netzwerk ist äußerst wichtig, denn mit ihm können die hohen und die tiefen Frequenzen getrennt geregelt und damit die Abstrahlcharakteristiken verschiedener Lautsprecher ausgeglichen und ihr hörbarer

Frequenzbereich erweitert werden. Im Endverstärker werden die Verluste des Klangregelnetzwerkes wieder ausgeglichen und genug Leistung produziert, um die Lautsprecher zu betreiben und so stark gegenzukoppeln, daß der Verstärker seine eigenen Verzerrungen wieder ausbügelt. Diese Einteilung gilt auch für den folgenden Verstärker, einen

Röhren-Stereo-Verstärker

für 2 mal 5 Watt, der nicht aus einzelnen Bausteinen zusammengesetzt, sondern auf einem Metallchassis einheitlich aufgebaut ist. Sein Schaltbild sieht nur auf den ersten Blick völlig anders als das des kleinen Transistor-Verstärkers aus. Im Prinzip bleibt alles dasselbe.

Es ist kein Kleingerät mehr, sondern ein vollwertiger Stereo-Verstärker, das Herzstück einer Heim-Stereo-Anlage, dessen Übertragungsqualität echter Hi-Fi-Wiedergabe nahe kommt.

Die Schaltung ist so einfach wie möglich. Auf Gegentakt-Endstufen wurde verzichtet; sie sind oft nicht ganz einfach einzutrimmen. Eintakt-Endstufen sind unkritischer. Damit noch 5 Watt pro Kanal herauskommen, beträgt die Betriebsspannung der Endstufen 275 Volt. Das kostet einen stärkeren Netztrafo, der aber wesentlich weniger kostet als zwei Gegentaktendstufen. Die Eintakt-Endstufen besitzen normale Ausgangstrafos für Lautsprecheranschluß, allerdings überdimensioniert große, nämlich für etwa 8 statt für 5 Watt, so daß keine Absättigung eintreten kann und sie möglichst wenig verzerren. Außerdem besteht eine starke Gegenkopplung vom Lautsprecherausgang auf den Eingang der Treiberröhre.

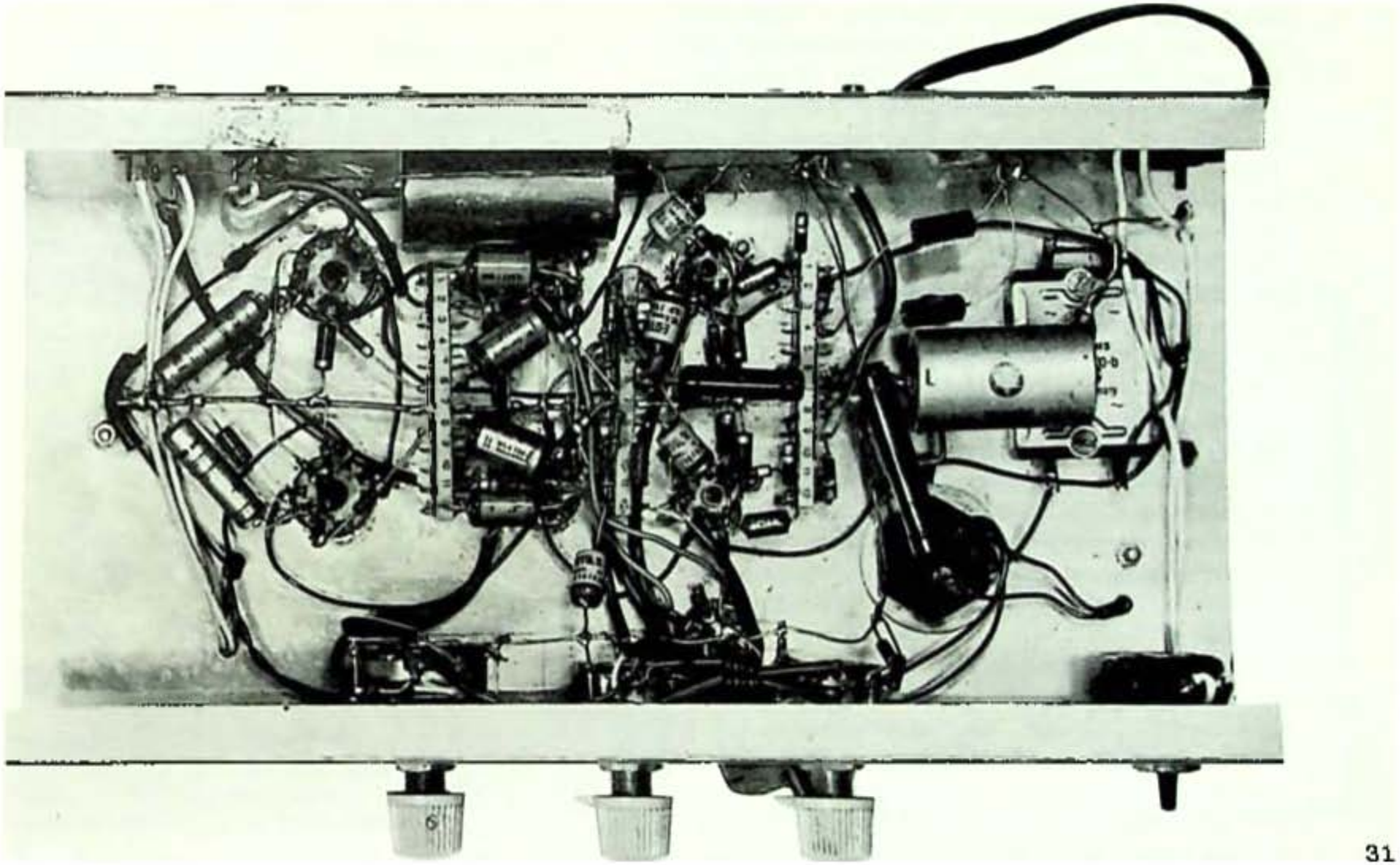
Die 5 Watt Ausgangsleistung sind nicht dazu da, um 10 Watt Lärm für Faschingsparties zu machen. Sie dienen als Reserve für einzelne Baßimpulse. Mit halb aufgedrehtem Lautstärkeregler gibt der Verstärker eine Lautstärke, die in jedem normalen Zimmer längst unangenehm wirkt und absolute „Originallautstärke" darstellt.

Überdimensionierung ist der billige Trick, der bei dieser Schaltung angewandt wurde, um hohe Übertragungsqualität zu sichern. Tontechniker wissen, daß man Schallplattenverstärker schon mit zwei Röhren pro Kanal bauen kann, mit einer Vorröhre und einer Endröhre. Auch bei zwei Vorstufen genügen noch zwei Röhren, wenn man als erste eine Doppeltriode verwendet.

Um die Sache übersichtlicher zu machen, wurden anstatt der Doppeltriode zwei Einzelröhren verwendet, pro Stufe eine. Es sind Pentoden, als Trioden ge-

Außenansicht des aufgebauten Chassis des Röhren-Stereo-Verstärkers. Alle Anschlußbuchsen befinden sich auf der Chassisrückseite.

Blick in die Verdrahtung des Geräts. Die Einzelteile sind an drei Lötösenleisten montiert. Die Leitungen zu den Potentiometern sind abgeschirmt.



schaltet. Das reduziert ihre Spannungsverstärkung, ergibt aber einen geraderen Kennlinienverlauf und geringere Verzerrungen. Die erste Röhre arbeitet über einen hohen Katodenwiderstand derart reduziert, daß sie nur vier- bis fünffache Spannungsverstärkung bringt.

Das Schaltbild 3 zeigt die Gesamtschaltung des Röhrenverstärkers.

Der Eingang ist hochohmig und besonders für den Anschluß eines Kristall-Tonabnehmers ausgelegt. Beachten Sie bitte auch die Schaltungsvariationen für mehrere Eingänge Seite 38

Für den Anschluß des Tonabnehmers sitzt im Eingang ein Vorwiderstand R 1, der die vom Tonabnehmer gelieferte relativ hohe Spannung herabsetzt, um ein Übersteuern des Verstärkers zu verhindern. Kristalltonabnehmer geben rund 500 mV ab. Die Schaltung zeigt die Eingangsröhre 6 BA 6 als Triode geschaltet; das Schirmgitter ist am Röhrensockel mit der Anode verbunden. Bei der folgenden Röhre 6 AU 6 ist das genauso.

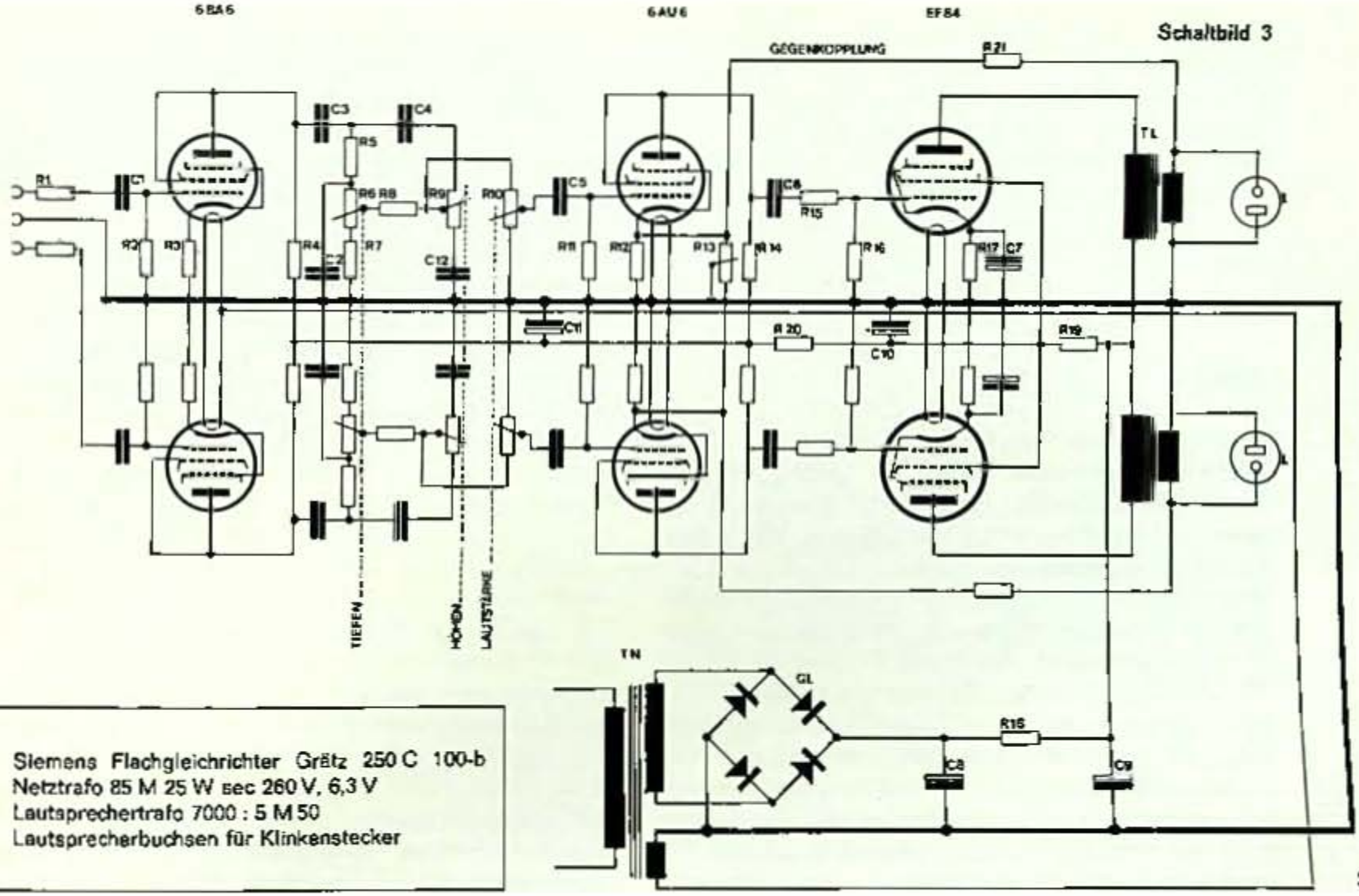
Der Katodenwiderstand der Eingangsröhre von 1 kOhm besitzt keinen Überbrückungskondensator. Die Verstärkerstufe ist dadurch sehr stark gegengekoppelt. Bei der Durchsteuerung entstehen an der Katode wechselnde Vorspannungen in Gegenphase zu den Gitterwechselspannungen. Die Verstärkung der Röhre ist dadurch geringer, gleichzeitig werden Verzerrungen

Stückliste zu Schaltbild 3

Schaltung Stereo-Verstärker mit Röhren
alle Kondensatoren ohne Spannungsangabe min. 100 V

R 1	100 kΩ		
R 2	1 MΩ		
R 3	1 kΩ		
R 4	330 kΩ		
R 5	47 kΩ		
R 6	Potentiometer Tiefen 500 kΩ lin		
R 7	100 kΩ		
R 8	5 kΩ		
R 9	Potentiometer Höhen 500 kΩ lin		
R 10	Potentiometer Lautstärkeregelung 500 kΩ log		
R 11	1 MΩ		
R 12	50 Ω		
R 13	Potentiometer Balance 100 Ω lin		
R 14	100 kΩ		
R 15	5 kΩ		
R 16	1 MΩ		
R 17	75 Ω/1 W		
R 18	200 Ω/10 W		
R 19	1,2 kΩ/2 W		
R 20	1,5 kΩ/1 W		
R 21	10 kΩ		
C 1	0,047 µF	C 7	100 µF/35 V
C 2	0,01 µF	C 8	100 µF/385 V
C 3	0,01 µF	C 9	100 µF/385 V
C 4	1 nF	C 10	50 µF/385 V
C 5	0,047 µF	C 11	50 µF/385 V
C 6	0,1 µF	C 12	0,02 µF

Schaltbild 3



GL	Siemens Flachgleichrichter Grätz 250 C 100-b
TN	Netztrafo 85 M 25 W sec 260 V, 6,3 V
TL	Lautsprechertrafo 7000 : 5 M 50
L	Lautsprecherbuchsen für Klinkenstecker

aufgehoben. Das ist in der ersten Verstärkerstufe besonders wichtig, denn Verzerrungen, die sie abgibt, könnten in den beiden folgenden Stufen nicht mehr repariert werden und würden weiterverstärkt.
Auch der Arbeitswiderstand von 330 kOhm ist sehr hoch. Es fließt ein sehr geringer Anodenstrom.

Tonfilter

Hinter der ersten Stufe folgt das Tonfilter.
Es ist prinzipiell gleich geschaltet wie das Filter des Transistor-Verstärkers. Hinter dem Widerstand R 5 führt der Kondensator C 2 mit kleinem Widerstand für hohe Frequenzen zur Masse.
An seinem Anschlußpunkt und am Pot R 6 stehen bevorzugt tiefe Frequenzen, die hohen werden abgeleitet. R 5 entkoppelt gleichzeitig C 3 von der Haupt-NF-Leitung; ohne diesen Widerstand würden alle hohen Frequenzen geschwächt. Der Schleifer des Pots R 6 greift um so mehr tiefe Frequenzen ab, je weiter er sich (im Sinne des Schaltbildes) nach oben bewegt, d. h. je weiter das Pot aufgedreht wird. C 4 hat einen hohen Widerstand für tiefe Frequenzen. Am Pot R 9 werden deshalb beim Aufdrehen in erster Linie hohe Frequenzen abgegriffen. Der Widerstand R 8 verhindert, daß sich abgegriffene hohe Frequenzen über den Tiefenregler aus dem Staube machen.
Je nach Stellung der Regler anteilmäßig gemischt gelangt die NF auf den Lautstärkeregler R 10. Auf eine sogenannte gehörrichte Lautstärkeregelung wurde verzichtet.
Die stärkere Anhebung tiefer Frequenzen bei geringen Lautstärken kann man mit dem Tiefenregler erreichen.
Der Regelbereich der Höhen- und Tiefenregelung ist bei dieser Schaltung größer als bei handelsüblichen Stereo-Verstärkern. Man kann die Tiefen und die Höhen unnatürlich stark anheben. Das wurde deshalb so gemacht, weil es sich um ein Gerät handelt, mit dem auch experimentiert werden und das deshalb extreme Einstellungen zulassen soll. Außerdem kann durch ungewöhnliche Höhe- und Tiefenanhebung die begrenzte Wiedergabequalität einfacher Lautsprecher bis zu einem gewissen Grade ausgeglichen werden.
ich betone: Bis zu einem gewissen Grade.
Die Doppelpots für die Höhen- und für die Tiefenanhebung müssen einen linearen Gang besitzen, denn sonst erstreckt sich der wahrnehmbare Regelbereich nur über einen kurzen und recht kritisch einstellbaren Drehbereich an den Knöpfen. Für die Lautstärkeregelung ist ein logarithmisches Doppelpot erforderlich.
Die zweite Verstärkerstufe mit der 6 AU 6, ebenfalls als Triode geschaltet, besitzt eine höhere Verstärkung.

Die Gittervorspannung ist geringer und der Anodengleichstrom und der Verstärkungsfaktor sind höher. Parallel zum Katodenwiderstand liegt der Balanceregler. Hinter dem Ankopplungskondensator C 6 sitzt ein Dämpfungswiderstand R 15 von 5 kOhm, der wilde Schwingungen verhindert. Die EL 86 arbeitet als Pentode mit voller Leistung. Ihr Katodenwiderstand beträgt nur 75 Ohm und ist mit 100 µF überbrückt. Die Stufe ist also in sich selbst nicht gegengekoppelt. Der Lautsprechertrafo ist handelsüblich mit Blechen M 60 und einer Primärimpedanz von 7 kOhm auf 5 Ohm Ausgang. Seine Anschlüsse sind an eine Buchse für Lautsprecher-Klinkenstecker geführt. Ein Anschluß der Sekundärwicklung des Ausgangstrafos liegt an Masse.

Vom anderen Ende der Sekundärwicklung führt die Gegenkopplungsleitung über den Widerstand R 21 zurück auf die Katode der zweiten Stufe. Endstufe und deren Vorstufe sind dadurch kräftig gegengekoppelt, wobei eventuell im Ausgangstrafo entstehende Verzerrungen kompensiert werden.

Ohne Anschluß der Gegenkopplung läßt sich der Lautstärkeregler des Gerätes nur etwa bis 1/3 aufdrehen, um volle Lautstärke zu erreichen. Dann setzen starke Verzerrungen ein.

Der Gegenkopplungszweig wird zuletzt bei laufendem Gerät an den Sekundäranschluß des Lautsprechertrafos geführt. Dazu stellt man mittlere Zimmerlautstärke ein. Der Anschluß der Gegenkopplungsleitung ergibt einen starken Lautstärkeverlust, so daß man jetzt den Lautstärkeregler voll aufdrehen kann, ehe die Endstufe übersteuert wird. Dieser Lautstärkeverlust muß beim Anschluß deutlich bemerkbar sein. Ist er das nicht, so wurde die Gegenkopplungsleitung an den falschen Anschluß der Sekundärwicklung des Ausgangstrafos geführt. Man muß dann die Wicklungsenden vertauscht anschließen.

Die Stromversorgung

Röhren reagieren viel empfindlicher auf Schwankungen der Betriebsspannung als Transistoren. Jede Betriebsspannungsschwankung wirkt sich unweigerlich auf die Gesamtfunktion aus. Die Störung wird durch die nachfolgenden Röhren weiter verstärkt, wenn sie in der ersten oder zweiten Stufe entsteht.

Es gibt aber kein Netzteil, dessen Ausgangsspannung bei vernünftiger Dimensionierung und plötzlichen starken Belastungen durch die Endröhren mit entsprechendem impulsartigem Stromverbrauch — etwa bei der Übertragung eines Paukenschlages — nicht etwas nachgeben würde. Diese kleinen Spannungsschwan-

kungen durch die Funktion der Endröhren, die den größten Teil des gesamten Anodenstromes brauchen, dürfen bei einem hochwertigen Verstärker keinesfalls auf die Vorstufen gelangen. Eine Verflachung der Wiedergabe, eine verminderte Dynamik, wäre die Folge. Die Stromversorgung der Vorstufen ist daher sehr sorgfältig von der Zuführung zur Endstufe entkoppelt. Die Spannungsversorgung der Schirmgitter der Endstufen ist wieder von deren Anodenstromversorgung entkoppelt.

Das Netzteil besteht aus einem kräftigen Netztrafo für 6,3 Volt Heizspannung und 275 Volt Anodenspannung und einem Doppelweg-Trockengleichrichter in Grätzschaltung. Im Mustergerät wurde hierfür ein Siemens-Flachgleichrichter verwendet. Selbstverständlich geht auch jeder andere Grätz-Gleichrichter, der 100 mA liefern kann. Doppelweg-Gleichrichtung ist unbedingt notwendig, um eine vollständige Glättung zu erreichen. Das Netzteil besitzt keine Drossel, weil deren Selbstinduktion bei schwankender Belastung durch die Übertragung von Schallimpulsen stören könnte. Gesiebt wird mit Widerständen und Elkos hoher Kapazität.

Hinter dem Gleichrichter liegt zunächst der Ladeelko C 8, dann kommt ein Widerstand R 18 an Stelle der Drossel, dahinter der Glättungskondensator C 9.

Etwas ungewöhnlich sind die Kapazitäten dieser Kondensatoren: C 8 und C 9 sind ein Doppelelko von 2 mal 100 MF. Die hohen Kapazitäten haben zur Folge, daß bei Stromschwankungen die Spannung nur langsam nachgeben kann. Hinter C 9 ist die Anodenstromversorgung der Endröhren über die Primärwicklungen der Ausgangstransformatoren angeschlossen. Ein noch vorhandener, sehr geringer Restbrumm kann sich hier nicht auswirken. Er wird nicht mehr durch eine nachfolgende Röhre verstärkt.

Aber schon für die Spannungsversorgung der Endröhren-Schirmgitter folgt eine weitere und sehr kräftige Siebung über einen relativ hohen Widerstand R 19 1,2 kΩ, hinter dem die Spannung durch einen Elko C 10 von 50 MF verblockt ist. Anodenspannungsschwankungen der Endröhren können sich daher nicht mehr auf die Schirmgitterspannung auswirken.

Für die Anodenstromversorgung der Vorröhren wird nochmals über den Widerstand R 20 von 1,5 kOhm gesiebt, der mit C 11 (100 MF) verblockt ist. Die Siebung ist so gut, daß der voll aufgedrehte nicht angesteuerte Verstärker in den angeschlossenen Lautsprechern nicht mehr den geringsten Rest eines Brumms hören läßt, selbst wenn man das Ohr im ruhigen Zimmer direkt vor einen der beiden Lautsprecher hält. Jeder Restbrumm würde sich der Wiedergabe überlagern und den Klangcharakter etwas verfälschen. Die starke, mehrfache Siebung ist also für hohe Wiedergabegüte unbedingt notwendig.

Die beiden Elkos C 10 und C 11 des Mustergerätes sind in der Verdrahtung aufgehängte Kondensatoren

mit Anschlußdrähten. Man kann an ihrer Stelle auch einen zweiten auf das Chassis geschraubten Doppelelko mit 2 mal 100 MF verwenden.

Es ist nicht notwendig, die Schaltung sklavisch in jeder Einzelheit einzuhalten. Die Prinzipien, nach denen geschaltet wurde, sollten genau erfaßt werden, um sich auch eigene Variationen erlauben zu können. Für die beiden Vorstufen müssen nicht unbedingt die Röhren 6 BA 6 und 6 AU 6 verwendet werden.

Jede moderne Triode und als Triode geschaltete Pentode mit ähnlichen Daten ist brauchbar. Für die Endröhre EL 86 wird man allerdings kaum einen günstigeren Typ finden. Verbundröhren können natürlich auch verwendet werden. Die Industrie tut das gern, um den mechanischen Aufwand durch Röhrensockel u. ä. zu verringern. Beim Selbstbau ist das bedeutungslos; Verbundröhren machen den Schaltungsaufbau unübersichtlicher.

Wichtig ist allerdings, daß in jeder Stufe für den rechten und den linken Kanal genau der gleiche Röhrentyp verwendet wird. Kleine Verstärkungsunterschiede zwischen den Kanälen lassen sich durch den Balanceregler leicht ausgleichen, aber nicht große Differenzen, besonders durch die Endröhren.

Wenn einzelne Widerstände um 20 % von dem hier angegebenen Wert abweichen, macht das nichts. Statt R 4 330 kOhm könnte man z. B. auch 250 kOhm oder 400 kOhm benutzen. Es würde sich kaum bemerkbar machen. Für die Kondensatoren gilt dasselbe. Es macht sich jedoch sofort bemerkbar, wenn an gleicher Stelle im Kanal links und Kanal rechts verschiedene Werte benutzt werden.

Die Röhren müssen mit reduzierter Verstärkung betrieben werden. Man muß stark gegenkoppeln und besonders die erste Röhre mit hohem Katodenwiderstand ohne kapazitive Überbrückung betreiben. Von der Sekundärwicklung der Ausgangstrafos muß phasenverkehrt (so, daß sich hörbarer Verstärkungsverlust ergibt), auf die zweite Stufe gegengekoppelt werden. Die Anodenspannung muß sorgfältig gesiebt und die Anodenstromversorgung besonders der ersten Stufe wirksam gegen Rückwirkungen durch die Endstufen entkoppelt werden. Man darf keine kleinen Ausgangstrafos verwenden, die „es auch tun". Die Ausgangstrafos können gar nicht groß genug sein.

Dies sind die Voraussetzungen für Klangqualität. Wenn man sie sinngemäß anwendet, kann man praktisch mit allen geeigneten Röhren hohe Wiedergabegüte erzielen.

Eingangsschaltungen

Ein Stereoverstärker ist nicht nur zum Anschluß eines Plattenspielers brauchbar. Man kann über ihn auch den Rundfunkempfang wiedergeben und ihn für die Tonband-Wiedergabe und die Aufnahme verwenden. Aus den einzelnen Geräten wird dann eine kombinierte Anlage.

Das hat verschiedene Vorteile. Die Wiedergabequalität normaler Rundfunkempfänger ist beschränkt. Ihre NF-Verstärkerstufen sind relativ einfach ausgeführt. Die eingebauten Lautsprecher erlauben nur eine beschränkte Wiedergabequalität. Wird das Rundfunkgerät aber an den Stereoverstärker angeschlossen, so arbeitet der anstelle des NF-Teils des Rundfunkempfängers verzerrungsfreier und über eine wesentlich bessere Lautsprecherkombination. An der Diodenbuchse des Rundfunkempfängers gibt es praktisch noch keine Verzerrungen, die entstehen erst in dem eingebauten NF-Teil und dem eingebauten Lautsprecher. Die Wiedergabe jedes Rundfunkempfängers wird bedeutend besser, wenn man ihn an einen guten Stereoverstärker anschließt, der mit hochwertigen Lautsprechern arbeitet.

Nicht allzu gut ist auch die Wiedergabequalität üblicher Tonbandkoffer, bei deren Lautsprecher man meist große Kompromisse schliessen muß. Der Platz im Gehäuse ist knapp, der Lautsprecher meist recht klein. Er läßt sich nicht besonders schallgünstig montieren. Auch die Wiedergabe vom Tonbandgerät wird bedeutend besser, wenn man das Gerät über seine Buchse für den Rundfunkanschluß an den Stereoverstärker anschließt.

Selbstverständlich sind mit normalen Rundfunk- und Tonbandgeräten keine Stereo-Wiedergaben möglich. Aber wie bereits ausgeführt bringt auch bei Monowiedergabe die Verteilung des Schalls auf zwei Lautsprecher im Basisabstand ein allgemein besseres Klangbild. Der Ton kommt nicht mehr erkennbar aus einem Lautsprecherloch, sondern steht im Raum. Das allein schon wirkt natürlicher.

Bei der Wiedergabe über den Stereo-Verstärker werden die Eigenlautsprecher von Rundfunkempfängern und Tonbandgeräten stillgelegt. Falls die Geräte keine automatischen Schalter besitzen, die beim Einführen des Steckers der Verbindungskabel den NF-Teil der Geräte abschalten, legt man die eingebauten Lautsprecher einfach dadurch lahm, daß man die Endröhren herauszieht.

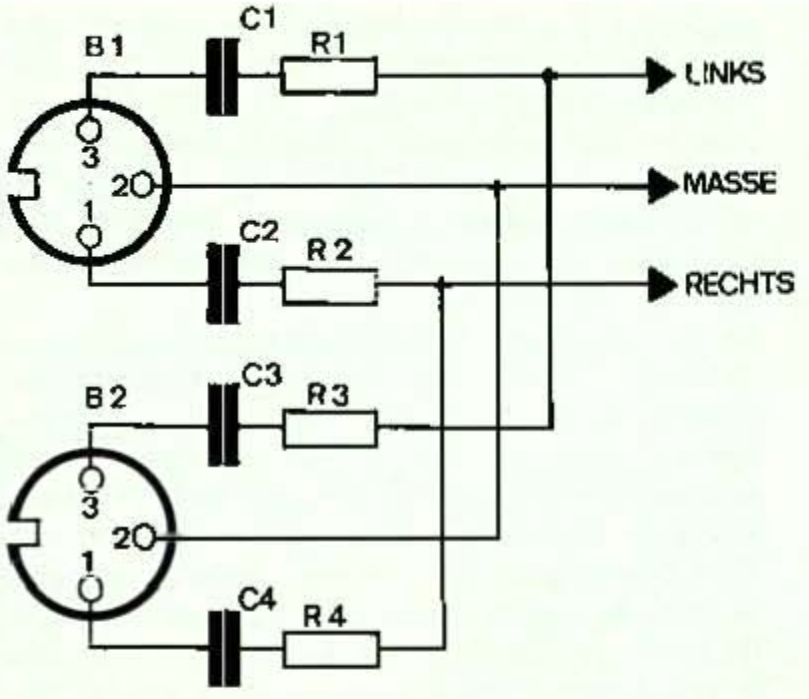
Wenn man mehrere Geräte an einen Stereo-Verstärker anschließt, braucht man mehrere Eingangsbuchsen, damit man nicht dauernd die Kabel umstecken muß. Bei gegenseitiger Entkopplung der Eingänge durch Widerstände ist eine Umschaltung nicht notwendig. Nebenstehend das Schaltbild eines Eingangs mit zwei Buchsen ohne Umschaltung für Stereo-Plattenspieler

und ein Tonbandgerät. R 1, R 2, R 3 und R 4 sind die Entkopplungswiderstände. Sie entsprechen den Widerständen R 1 und R 1' des einpoligen Eingangs im Gesamtschaltbild.

Mit dieser Eingangschaltung kann man auch vom Plattenspieler auf das Tonbandgerät überspielen, ohne daß am Stereo-Verstärker dabei umgeschaltet werden muß. Die Umschaltung erfolgt im Tonbandgerät, wenn man die Aufnahmetaste drückt. Beim Überspielen wird die Schallplatte vom Stereogerät wiedergegeben, und zwar in Stereo, während die Tonbandaufnahme in Mono erfolgt. Die Lautstärkeregelung des Stereo-Verstärkers hat jedoch keinerlei Einfluß auf die Aussteuerung bei der Aufnahme. Ausgesteuert wird mit dem Regler am Tonbandgerät. Die Wiedergabe vom Tonband kann mit Lautstärkeregler und Klangregelnetzwerk des Stereo-Verstärkers geregelt werden.

Wenn beide Anschlußkabel, das vom Plattenspieler und das vom Tonbandgerät, in die Buchsen eingeführt sind, ergibt sich eine leichte Reduzierung der Ansteuerung des Stereo-Verstärkers. Die Wiedergabelautstärke verringet sich dabei jedoch praktisch nicht, weil die etwas geringere Ansteuerung am Lautstärkeregler wieder voll ausgeglichen werden kann. Der Verstärker hat genügend Ansteuerungs-Reserven.

Nur große Stereo-Tonbandgeräte der Spitzenklasse enthalten einen vollständigen Stereo-Verstärker mit höherer Ausgangsleistung. Die meisten Stereo-Ton-



Eingengschaltung mit 2 Buchsen, die gegenseitig entkoppelt sind. Alle Kondensatoren 0,02 µF, alle Widerstände 100 kΩ. Bei Benutzung dieser Scheltung entfällt R1 im Eingang des Röhrenverstärkers.

bandkoffer sind für den Anschluß an einen Stereo-Verstärker für die Wiedergabe konstruiert. Sie besitzen lediglich Stereo-Vorstufen für die Aufnahme, die auch bei der Wiedergabe in Betrieb sind, und eine einkanalige Leistungs-Endstufe für Mono-Wiedergabe mit dem eingebauten Lautsprecher. Stereo-Wiedergabe wäre mit Lautsprechern in einem Koffergehäuse ohnehin nicht möglich.

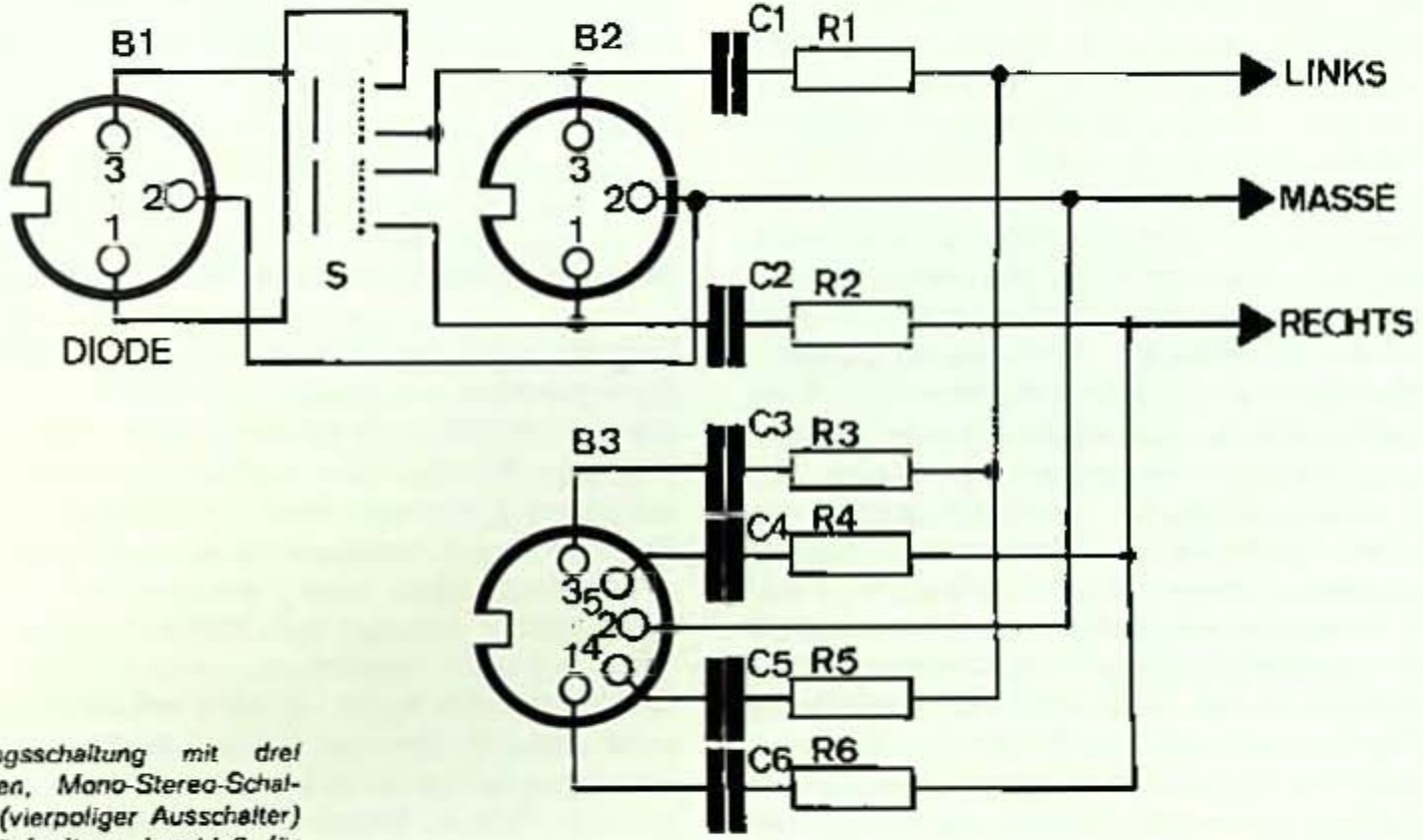
Bei der Wiedergabe kann das stereophone Signal von den Stereo-Vorstufen an der Anschlußbuchse abgenommen werden, um einen Stereo-Verstärker anzusteuern. Die Buchse ist fünfpolig. Man braucht deshalb auch am Stereo-Verstärker eine fünfpolige Anschlußbuchse für ein Stereo-Tonbandgerät. Der Eingang kann ohne Schwierigkeit auch mit drei Buchsen aufgebaut werden, die gegeneinander entkoppelt sind. Dann ist für Rundfunk-, Tonband- und Schallplattenwiedergabe je eine Anschlußbuchse vorhanden. Die nebenstehende Schaltung erlaubt auch die Überspielung vom Rundfunkempfänger auf Tonband. B 3 kann auch für Mono-Tonbandgeräte benutzt werden.

Man sieht aus diesen Schaltungsbeispielen, daß für den Eingang zahlreiche Schaltungsvariationen möglich sind. Es ist sehr einfach, den Eingang den jeweiligen Wünschen entsprechend aufzubauen.

Die Schaltungsteile des Eingangs sollten jedoch immer wenigstens einige Zentimeter von Leitungen der Stromversorgung entfernt verlaufen und unter keinen Umständen parallel zu Wechselstromleitungen führen. Wenn darauf bei der Anordnung der Bauteile des Verstärkers auf dem Chassis nicht geachtet wird, besteht die Gefahr, daß Brummspannungen auf den Eingang induziert werden, die dann zu einem häßlichen Wechselstrom-Brumm in den Lautsprechern führen. Ein Brumm läßt sich am fertigen Gerät nur durch nachträgliche Abschirmung beseitigen, durch Fernhalten der Eingangsschaltung von Wechselstromleitungen aber gänzlich vermeiden.

Die Gesamtverstärkung eines Röhrenverstärkers wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, ist nicht so hoch, daß das Gerät besonders brummempfindlich ist. Die Spannungen, die ein Kristalltonabnehmer abgibt, betragen immerhin einige hundert mV. In der gleichen Größenordnung liegen die Spannungen am Rundfunk- und Verstärkeranschluß eines Tonbandgerätes und hinter der Diode eines Rundfunkempfängers. Mit dem Kopfhörer kann man diese NF-Spannungen immerhin schon ohne Verstärkung deutlich, wenn auch recht leise, hören. Eine höhere Eingangsempfindlichkeit als etwa 50 mV für 500 mV ist daher für einen Stereo-Verstärker zur Schallplatten-, Rundfunk- und Tonbandwiedergabe nicht notwendig.

Für Mikrofonwiedergabe reicht diese Empfindlichkeit aber nur, wenn man ein Kristallmikrofon an einem Eingang ohne Vorwiderstand verwendet. Für ein dynamisches Mikrofon ist sie unzureichend. Für solch ein



Eingangsschaltung mit drei Buchsen, Mono-Stereo-Schalter S (vierpoliger Ausschalter) und fünfpoliger Anschluß für Stereo-Tonbandgerät (B 3). Alle Kondensatoren 0,02 µF, alle Widerstände 100 kΩ.

Mikrofon ist unbedingt ein Vorverstärker notwendig. Dafür benutzt man am besten einen Transistorvorverstärker, der getrennt aufgebaut wird und auch als Vorverstärker für magnetische Tonabnehmer brauchbar ist. Man kann aber auch die Schaltung der 1. Stufe des Röhrenverstärkers mit der 6 BA 6 als Vorverstärker aufbauen und vor die Röhrenschaltung setzen. Der Katodenwiderstand R 3 wird im Vorverstärker nur mit 100 Ohm bemessen.

Ein Stereo-Mikrofon besteht einfach aus zwei normalen Mikrofonen, die mechanisch so miteinander verbunden werden, daß ihre Schallöffnungen in einem Winkel von etwa 90 bis 100 Grad auseinanderweisen. Die Mikrofongehäuse sollten sich nicht direkt berühren, damit keine Schallschwingungen vom Gehäuse des einen auf das andere Mikrofon übertragen werden. Elektrisch miteinander verbunden werden die beiden Mikrofone nicht. Jedes hat sein eigenes Kabel zu den beiden Eingängen des Vorverstärkers, so daß an den Mikrofonen selbst überhaupt nichts verändert werden muß. Lediglich eine entsprechende Halterung muß gemacht werden. Jeder kann sich deshalb aus zwei gleichen Mikrofonen ein Stereomikrofon bauen. Wenn die Halterung ein Gelenk besitzt, kann man die Winkelstellung der beiden Mikrofone zueinander so verstellen, daß bei der Aufnahme der beste Stereo-Effekt entsteht.

Es wäre aber vollkommen sinnlos, die Steuerspannungen von Kristall-Tonabnehmern, Rundfunk oder Tonband etwa auch über den Vorverstärker einzuspeisen. Es käme keine größere Ausgangsleistung aus dem Gerät heraus. Man müßte lediglich den Lautstärkeregler viel weiter zudrehen, damit die Sache noch erträglich bleibt.

Lautsprecher und Lautsprecherkombinationen

Kein Verstärker kann bessere Tonqualitäten liefern als die angeschlossenen Lautsprecher zulassen. Ein hochwertiger Verstärker mit minderwertigen Lautsprechern ist wie ein Porsche-Motor in einem Dreiradwagen. An sich ist das selbstverständlich. Nicht ganz so verständlich ist aber, warum gute Lautsprecher mindestens genau so schwierig zu konstruieren sind wie gute Stereo-Verstärker und der gute Verstärker billiger sein kann als die Lautsprecher.

Der Grund dafür ist die Tatsache, daß elektrische Impulse und Schwingungen nichts wiegen, trägheitslos sind und sich in elektronischen Schaltungen mit Transistoren, Röhren, Widerständen und Kondensatoren fast beliebig verstärken und beeinflussen lassen.

Der Lautsprecher aber ist ein Bauteil, in dem mechanische Bewegungen stattfinden, die nicht trägheitslos

ablaufen. Es ist schwierig, Lautsprecher so zu bauen, daß sie Schallwellen erzeugen, die den elektrischen Schwingungen aus dem Verstärker genau entsprechen und die Niederfrequenzen ohne jede Veränderung in entsprechende Schallschwingungen umsetzen.

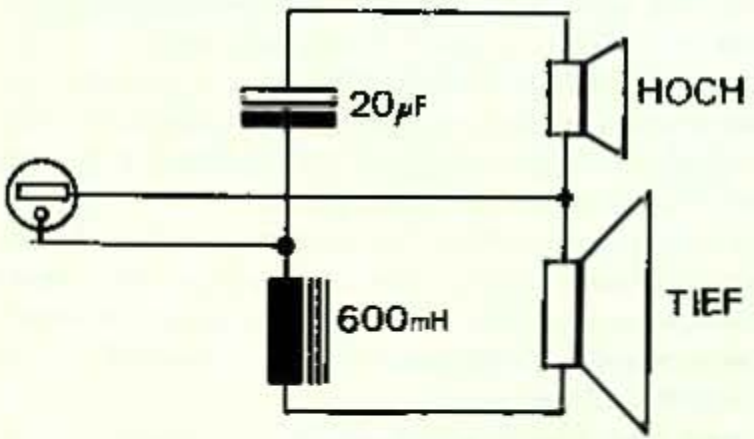
Schall sind winzige Luftbewegungen, rhythmisch aufeinanderfolgende Druckwellen, die sich mit der Schallgeschwindigkeit von 332 m/sec. fortbewegen und das Trommelfell des Ohres — oder die Membran eines Mikrofons — in entsprechende Schwingungen versetzen, wenn sie darauf treffen. Um diese Druckwellen zu erzeugen, muß man Luft in Schwingung versetzen. Dafür gibt es prinzipiell keine andere Möglichkeit als eine Fläche rasch, im Rhythmus der zu erzeugenden Schallwellen, hin und her zu bewegen. Beim Lautsprecher ist diese Fläche die Membran. Sie wird elektromechanisch bewegt durch eine Spule, die an der Membran in der Mitte befestigt ist und in den Spalt eines starken Elektromagneten eintaucht. Durch die Spule fließt die NF-Wechselspannung von der Endstufe des Verstärkers. Die Membran soll genau entsprechend dem Verlauf der elektrischen Schwingungen bewegt werden. Völlig exakt ginge das nur, wenn die Membran überhaupt keine Masse hätte und auch nicht mechanisch befestigt wäre, also frei in der Luft schweben würde. Solch eine Membran ist aber nur theoretisch denkbar, also irreal.

Gute Lautsprecher haben extrem leichte Membranen, leicht beweglich aufgehängt. Aber da sie eben doch eine gewisse Masse haben und ihre Befestigung etwas Widerstand bietet, haben auch sie eine gewisse Eigenresonanz. Auf bestimmten Frequenzen schwingen sie leichter, auf anderen schwerer. Eine große Membran läßt sich viel schwerer rasch bewegen als eine kleine. Eine kleine Membran mit geringer Fläche bewegt aber bei langsamen Schwingungen zu wenig Luft, um noch einen starken kräftigen Ton zu erzeugen. Das bedeutet, daß ein einziger Lautsprecher nicht alle Tonfrequenzen gleichmäßig wiedergeben kann. Für tiefere Töne und Bässe braucht man große Lautsprecher mit großen Membranen, die bei langsamen Schwingbewegungen noch eine beträchtliche Menge Luft hin und her schieben können. Hochtonlautsprecher haben kleine Membranen, die sich rasch bewegen lassen. Die raschen Membranbewegungen erzeugen harte Luftstöße und relativ hohe Schallintensität, so daß Hochtonlautsprecher keine so große Membran benötigen wie Lautsprecher für mittlere und tiefe Töne. Es ist sehr viel einfacher, hohe Schallintensitäten auf hohen als auf tiefen Frenquenzen zu erzeugen: wenn es darum geht, mit Schall Materialen zu verändern, Watte zu entzünden und Schallimpulse 15 km weit durchs Wasser zu übertragen, nimmt man Ultraschall sehr hoher Frequenzen.

Das menschliche Ohr ist nicht für alle Schallfrequenzen gleich empfindlich. Bei physikalisch gleicher Schall-

intensität hört man Töne von 1000 Hz sehr viel lauter als solche von 100 Hz. Das entspricht der täglichen Lebenserfahrung. Wenn Sie ihrem Freund quer über die Straße pfeifen, hört er es; wenn Sie ihm zubrummen, hören es nur die neben Ihnen gehenden Leute, und blicken Sie dumm an. Diese unterschiedliche Empfindlichkeit des Ohres für verschiedene Tonfrequenzen kommt vom Trommelfell, das eine sehr kleine Membran ist und deshalb von sanften langsamen Schallschwingungen sehr viel schwerer bewegt werden kann als von den härteren raschen Luftschwingungen hoher Töne. Bei sehr hohen Frequenzen über etwa 15 000 Hz kommen dann allerdings die Gehörknöchelchen nicht mehr mit, welche die Trommelfellschwingungen aufs Ohrlabyrinth übertragen. Deshalb hört man auch sehr hohe Frequenzen schlecht und Schallschwingungen über etwa 18 000 Hz überhaupt nicht. Für die Lautsprechertechnik kommen also zwei Erscheinungen zusammen: die menschlichen Ohren hören tiefe Töne schlecht und tiefe Töne lassen sich — aus genau dem gleichen physikalischen Grund — schwerer lautstark erzeugen als hohe. Deshalb war seit jeher die Wiedergabe der Bässe ein Problem, nicht die Wiedergabe der Obertöne. Und heute ist bei den Stereo-Fans die Baßwiedergabe eine der wichtigsten Eigenschaften einer Stereo-Anlage — obwohl man auch hier des Guten zuviel tun kann. Für die starken Membranbewegungen bei den tiefen Tönen braucht man Ausgangsleistung. Der größte Teil der hohen Leistung moderner Verstärker hoher Wiedergabegüte geht in die Bässe, um sie bei der Übertragung richtig hörbar zu machen.

Für eine Wiedergabe hoher Qualität sind mindestens zwei Lautsprecher erforderlich, einer für mittlere und tiefe Töne und ein Hochtonlautsprecher für die Oberschwingungen. Diese beiden Lautsprecher sind zu einer Kombination zusammengeschaltet. Mit einer Drossel und einem Kondensator wird eine Frequenzweiche geschaffen: der Kondensator hat einen hohen Widerstand für tiefe Frequenzen, die Drossel einen hohen Widerstand für hohe Frequenzen, so daß hohe Frequenzen in erster Linie zum Hochton-, tiefe Frequenzen zum Mittel- und Tiefton-Lautsprecher gelangen. Die nachstehend gezeigte Schaltung einer solchen Kombination kann aus handelsüblichen Lautsprechersystemen zusammengeschaltet werden. Die Gesamtimpedanz von 5 Ohm bei 1000 Hz bleibt trotz der Zusammenschaltung erhalten. Die Lautsprecher liegen also für die NF-Wechselspannungen am Verstärkerausgang nicht parallel. Es ergibt sich mit allen Hochton-Lautsprechern und Baßlautsprechern mit einem Frequenzbereich von etwa 50 Hz bis 7000 Hz ein annähernd gleichmäßiger Frequenzgang bei der Wiedergabe.
Für Stereo braucht man selbstverständlich zwei solche Kombinationen, für jeden Kanal eine.



Schaltung einer Frequenzweiche für ein Hochton- und ein Mittel-Tiefton-Lautsprechersystem von je 5 Ω Impedanz an einen Verstärkerausgang 5 Ω.

Schallwand und Boxen

Lautsprecher müssen unbedingt gut eingebaut werden. Ein nackt auf dem Tisch liegendes Lautsprechersystem kann keine Tonqualitäten liefern. Erst durch den Einbau werden hochwertige Lautsprechersysteme zu „Klangstrahlern". Das Lautsprechergehäuse bildet zusammen mit dem eingebauten Lautsprechersystem einen Schallkörper. Das ist ähnlich wie bei einem Musikinstrument: vier gespannte Saiten sind noch keine Geige. Aber im Gegensatz zu Streichinstrumenten darf das Gehäuse von Lautsprechern keinen Resonanzboden bilden, der einen eigenen Klangcharakter hat. Seine Aufgabe ist, jede Resonanz zu verhindern und akustische Kurzschlüsse zu unterbinden. Nur wenn das Lautsprechergehäuse dies tut, ist eine einwandfreie Schallabstrahlung über alle Frequenzen möglich. Ein Gehäuse braucht in erster Linie der Tief- und Mitteiton-Lautsprecher. Hat er keines und sitzt er auch nicht hinter einer großen Schallwand, so wird die Abstrahlung der tiefen Töne stark behindert.
Stellen wir uns einmal die Membranbewegung vor: wenn sich die Lautsprechermembran bei tiefen Tönen relativ langsam nach vorn bewegt, gibt sie der Luft einen sanften Schubs. Die Luft hat Zeit, auszuweichen und tut das auch, wenn sie kann. Bei dem Schubs nach vorn ist ein leichter Luftüberdruck vor der Membran entstanden, hinter der Membran eine Zone leichten

Unterdrucks. Wo fließt die nach vorn geschubste Luft hin? Überdruck und Unterdruck gleichen sich auf dem einfachsten Wege aus: die Luft fließt kurzerhand um die Kante des nicht eingebauten Lautsprechersystems herum in die Unterdruckzone hinter der Membran. Warum sollte sie als Stoßwelle bis zu Ihrem Ohr vordringen, wenn es viel einfacher geht? Es würde allen physikalischen Gesetzen des Energieausgleichs widersprechen.

Beim Zurückschwingen der Membran strömt die Luft dann ebenso einfach von der Membranrückseite auf die Vorderseite. Ergebnis: bei tiefen Frequenzen schwingt die Membran hin und her und pumpt im Leerlauf Luft von vorn nach hinten und von hinten nach vorn, aber es entsteht kein Ton, der einem Baßlautsprecher Ehre macht. Bei hohen Frequenzen kann dieser Kurzschluß nur sehr viel geringer oder gar nicht auftreten. Wenn die Membran sehr rasch hin und her schwingt, bewegt sie sich schon wieder nach hinten, ehe die nach vorn gestoßene Luft auf die Membranrückseite gelangen kann. Es gibt dann keinen anderen Energieausgleich als das Weiterlaufen der Druckwelle in den Raum hinaus, in dem sie allmählich verebbt, als Schallwelle.

Um aber den akustischen Kurzschluß bei tiefen Frequenzen zu verhindern, müßte der Weg von der Membran-Vorderseite auf die Hinterseite mindestens so lange wie die halbe Schallwellenlänge bei der tiefsten zu übertragenden Tonfrequenz gemacht werden. Bei 40 Hz beträgt die halbe Schallwellenlänge immerhin schon rund 4,10 Meter. Das bedeutet, daß der Tieftonlautsprecher in der Mitte einer viereckigen Schallwand sitzen müßte, die eine Kantenlänge von mehr als 4 Metern hat, um noch 40 Hz optimal abstrahlen zu können. Solch eine Schallwand wäre selbst für einen Konzertsaal ein Monstrum. Für einen bewohnten Raum jeder Dimension ist so etwas völlig unmöglich. Deshalb hat man Boxen mit tiefen Seitenwänden konstruiert, um die herum die Schallwellen nur auf verschlungenen Pfaden nach hinten gelangen konnten. Sie hatten die Größe kleinerer Schuhschränke und eine hervorragende Klangwiedergabe. Daß sie aber auf heftigen Widerstand derjenigen stießen, die solche Ungetüme nicht in den Wohnräumen haben wollten, besonders noch an schallgünstigen Stellen, wie links und rechts eines großen Blumenfensters, wo sie jeder harmonischen Innenarchitektur ins Gesicht schlugen, ist gut zu verstehen. Als man für hochwertige Tonwiedergabe noch große Boxen brauchte, waren sie das Haupthindernis für die breitere Einführung von Stereo und Hi-Fi.

Heute aber kann man auch mit sehr kleinen und sehr flachen Boxen Hi-Fi-Klangqualitäten erzielen. Ältere Stereo-Fans, die noch an große Boxen gewohnt sind, trauen solch kleinen, fast zierlichen Boxen manchmal noch immer nicht so recht. Ihre Sorge ist unbegründet.

Moderne Kleinboxen von nur 5 Liter Inhalt und weniger haben dieselbe Wirkung für die Schallabstrahlung wie 25 Quadratmeter Fläche. Lautsprechersysteme, die mit einem geschlossenen Luftkissen innerhalb der Box arbeiten, machen solche kleinen Konstruktionen möglich. Diese Kompressionslautsprecher können wir nicht selbst bauen, ohne weiteres aber die dafür notwendigen Boxen.

Hochwertige Lautsprechersysteme

Viel Luft hin und her pumpen für Baßwiedergabe kann man mit einer großen Membranfläche, die nur verhältnismäßig geringe Schwingungen ausführt, oder mit einer kleinen Membranfläche, die entsprechend größere Pumpbewegungen macht. Im letzteren Falle ist der Weg der Membran bei einer Schwingung vorwärts und rückwärts, der Membranhub, sehr viel größer. Die Membran gleicht mehr einem hin und hergehenden Kolben als einer gespannten, schwingenden Fläche. Baßlautsprecher mit kleineren Durchmessern bei erhöhter Wiedergabequalität konnten in den letzten Jahren konstruiert werden, weil es gelang, den Membranhub stark zu vergrößern und die Membran sehr weich aufzuhängen.

Die Membran normaler Lautsprecher besitzt einen Rand mit mehreren eingepreßten Rillen. Mit diesem Rand ist die Membran am Lautsprecherkorb befestigt. Bei Membranbewegungen wird der gerillte Membranrand durchgebogen. Solch eine Befestigung ist ziemlich steif und erlaubt nur Bewegungen von wenigen Millimetern.

Bei stärkeren Membranbewegungen führt die Hemmung des Membranrandes durch die Befestigung dazu, daß die Membranfläche zwischen Schwingspule und Rand durchgebogen wird. Dies führt zu Tonverfälschungen und Verzerrungen, denn die Luft wird von der gesamten Membranfläche nicht mehr gleichmäßig gestoßen. Es entstehen unerwünschte Neben- und Oberschwingungen. Die Membran sollte in sich starr bleiben.

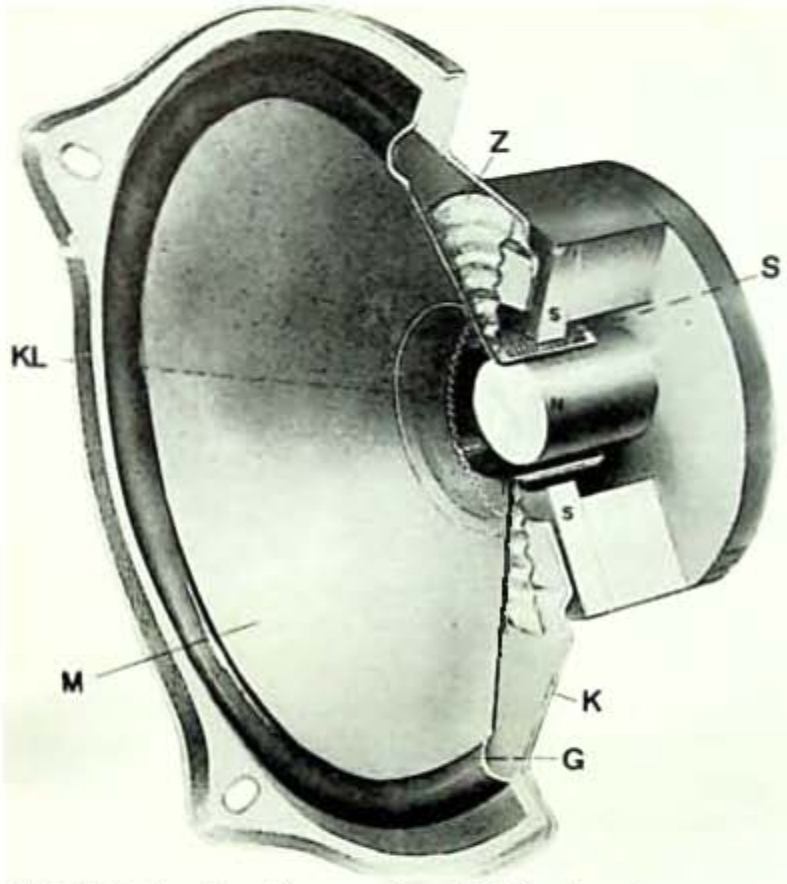
Große Schwingamplituden ohne elastische Deformierung der Membran lassen sich aber erreichen, wenn die Membran am Rand ganz weich aufgehängt ist. Moderne Qualitätslautsprechersysteme besitzen daher statt der Riffelung am Membranrand einen ringförmigen Streifen aus dünnem weichem Gummi, der gewölbt ist und wie ein dicker Gummiwulst rings um den Rand der Membran liegt. Mit dieser Gummisicke ist die Membran am Lautsprecherkorb befestigt. Die Sicke erlaubt sehr große Membranhübe von 6 bis 8 mm, sie hemmt die Membran praktisch überhaupt nicht. Durch diese geringe Hemmung der Membranbewe-

gung gibt es auch kein Durchbiegen der Membranfläche bei großen Amplituden mehr. Die leichte Membranbeweglichkeit und die großen Membranhübe machen es möglich, auch für die Baßwiedergabe Lautsprecher mit relativ kleinen Korbdurchmessern zu konstruieren. Die Verbiegungsfreiheit der Membran führt zu verbesserter Wiedergabe. Außerdem sind die modernen Membrane aus besonders steifem, hartem Material gefertigt. Man kann nicht mehr durch eine unvorsichtige Handbewegung mit dem Finger ein Loch hindurchstoßen. Es ist natürlich bei einem kleineren Lautsprecher leichter, eine in sich sehr steife Membran zu machen als bei einem sehr großen. Um große Membranen steif und gleichzeitig extrem leicht zu machen, wird versucht, sie aus leichtem Kunststoff-Hartschaum, z. B. Styropor, herzustellen, doch habe ich noch keine Lautsprechersysteme mit solchen Membranen im Handel gesehen.

Auf dem Bild ist ein moderner Lautsprecher im Schnitt dargestellt. Auf den ersten Blick unterscheidet er sich kaum von einem Normal-Lautsprecher üblicher Art. Äußerlich erkennbar ist er jedoch besonders durch die Gummisicke. Wie bei jedem Lautsprecher ist die Membran zentriert und doppelt aufgehängt. Die Zentrierscheibe innerhalb des Lautsprechers, die an der Stelle ansetzt, wo am Membran-Konus die Schwingspule befestigt ist, sorgt dafür, daß die Schwingspule im Luftspalt des Feldmagneten nur Hubbewegungen senkrecht zu den Polen des Feldmagneten ausführen kann. Diese Zentrierscheibe muß einen besonders großen Durchmesser haben, um ohne großen Widerstand die gewünschten großen Hubbewegungen der Membran zuzulassen. Über das Loch in der Mitte der Membran ist eine sogenannte Kalotte geklebt. Sie verhindert, daß Luft durch die Membranmitte treten kann.

Für hohe Qualität der Wiedergabe muß dafür gesorgt werden, daß sich die Schwingspule innerhalb des Spaltes des Feldmagneten stets in einem gleichmäßig starken Magnetfeld bewegt und auch bei großen Membranbewegungen nicht in Zonen geringerer Feldstärke gerät, denn dies würde dazu führen, daß die Membran in solch einem Moment schwächer bewegt wird als es dem momentanen Strom durch die Schwingspule entspricht. Ein gleichmäßiges Magnetfeld könnte man erreichen, wenn man die Magnetpole, die den ringförmigen Spalt für die Schwingspule bilden, mehrfach breiter macht als die Länge der Schwingspule. Dazu brauchte man aber viel magnetisches Material, also einen bulligen Feldmagneten, der den Lautsprecher recht schwer und teuer machen würde. Ein großer Teil des magnetischen Flusses in dem Spalt wäre ungenutzt.

Deshalb ist man den umgekehrten Weg gegangen und hat einen Feldmagneten mit normaler Breite der Pole benutzt, in dessen Spalt aber eine extrem lange



Schnitt durch einen Kompressions-Hi-Fi-Lautsprecher

K Chassis
S Luftspalt des Feldmagneten
Z Zentrierscheibe
M Membran
G Gummisicke
KL aufgeklebte Kalotte zum luftdichten Abschluß der Membranfläche. *(Grundig/Heck)*

Schwingspule eintaucht. Die Spule ist sehr viel länger als die Breite der Pole, so daß auch bei der größtmöglichen Hubbewegung der Spalt zwischen den Magnetpolen in seiner ganzen Tiefe noch immer voll von einem Teil der Spulenwicklung ausgefüllt ist. Bei jeder Stellung der Schwingspule wird daher immer ein gleichgroßer Teil ihrer Wicklung vom ganzen Magnetfeld geschnitten. Auf die Schwingspule wirkt daher auch immer eine Kraft, die genau dem jeweiligen Strom durch die Spule entspricht. Die Membranbewegungen folgen deshalb genau der NF-Schwingung am Ausgang des Verstärkers und der Spule.

Aber solch eine Anordnung bringt gewisse Verluste, denn immer nur ein Teil der Schwingspule wird vom Magnetfeld geschnitten und ist für die Membranbewegung wirksam, während der Strom stets die gesamte Spule durchfließen muß. Dabei geht ein Teil der NF-Leistung verloren. Der Wirkungsgrad des Lautsprechers ist niedriger, als es optimal möglich wäre. Ebenso wie bei Verstärkern läßt sich auch hier Wiedergabequalität und Verzerrungsfreiheit nur erreichen, wenn man nicht die volle an sich mögliche Leistung ausnutzt.

Die Membran eines solchen Lautsprechers ist äußerst leicht beweglich. Nur eine geringe Rückstellkraft wird bei den Ausschlägen wirksam, um die Membran wieder in ihre Ruhelage zurückzustellen. Man darf deshalb solch einen Lautsprecher niemals uneingebaut in Be-

trieb nehmen. Man sollte ihn auch im Probebetrieb nur mit äußerster Vorsicht und mit allergeringster Lautstärke betreiben. Jeder stärkere Stromimpuls, etwa beim Anschluß eines unter Spannung stehenden Lautsprecherkabels, würde zu einem solch starken und ungebremsten Ausschlag der Membran führen, daß die genaue Zentrierung der Lautsprecherspule im Luftspalt des Magneten zerstört werden könnte.

Im eingebauten Zustand wird die Lautsprechermembran bei ihren Bewegungen gedämpft und gebremst, aber nicht durch irgend ein mechanisch federndes Teil, sondern durch ein in der Lautsprecherbox eingeschlossenes Luftkissen. Die Box muß deshalb luftdicht sein. Die Lautsprechermembran bildet einen schwingenden Teil der Vorderwand des Lautsprechergehäuses. Bei Membranbewegungen wird dann die in der Box eingeschlossene Luft ein wenig komprimiert, wenn die Membran zurückgeht, und ganz leicht verdünnt, wenn sie sich nach vorwärts bewegt. Kompression und Dekompression bildet den Hauptteil der Rückstellkraft auf die Membran und verhindert zu weitgehende Membranhübe.

Ein Luftkissen ist ideal zum Dämpfen der Membranbewegungen, denn Luft neigt, ebenso wie Gummi, nicht zu Eigenschwingungen. Jedes andere federnde Material zeigt Resonanzen.

Komprimierte oder dekomprimierte Luft entwickelt eine Rückstellkraft, die genau der Verringerung und Vergrößerung ihres Volumens entspricht und praktisch linear mit dem jeweiligen Hubweg der Membran steigt. Auch dadurch wird erreicht, daß die Membran genau dem jeweiligen Schwingstrom entsprechende Bewegungen ausführen kann. Eingeschlossene komprimierbare Luft ist eine Feder und gleichzeitig ein vollkommener Stoßdämpfer, auch bei Autofederungen.

Der luftdichte Abschluß der Lautsprecherbox verhindert auch den Luftausgleich zwischen Vorder- und Rückseite der Membran bei tiefen Frequenzen, den akustischen Kurzschluß. Er hat dadurch die gleiche Funktion wie eine Schallwand mit mehreren Metern Kantenlänge. Damit nicht über Wandschwingungen der Box dennoch ein gewisser akustischer Kurzschluß eintritt, wird die Box innen mit schallschluckendem Material gefüllt.

Aus den Besonderheiten der Konstruktion von Kompressionslautsprechern und ihrer Wirkungsweise ergeben sich automatisch die Erfordernisse, die beim Einbau in eine Box zu beachten sind.

Die Box muß luftdicht gebaut werden. Ganz wörtlich ist dies nicht zu nehmen. Die Innenluft braucht nicht so hermetisch abgeriegelt zu werden wie Sekt in einer versiegelten Flasche. Aber immerhin muß die Abdichtung so gut sein, daß kein rascher Luftausgleich zwischen Innen und Außen stattfinden kann. Es hat keinen Sinn, etwa die Rückwand nur zu verschrauben. Die Größe der Box ist nicht entscheidend. Sie sollte aber

mindestens doppelt so viel Inhalt haben wie die beiden Lautsprechersysteme — Tief-Mittel und der Hochtonlautsprecher — beanspruchen. Wände aus dünnem Sperrholz sind ungünstig. Sehr viel besser sind stärkere Preßspanplatten, die nicht schwingen. Die Fugen sollten gut verleimt sein.

Man setzt die Lautsprecher nicht von innen in Schallöffnungen, sondern montiert sie auf ein gesondertes Brett mit Schallöffnungen entsprechend dem Membrandurchmesser. Das Brett muß genau in die vordere Öffnung der Box passen. Die Leitungen zu dem Lautsprechersystem, die Drossel und der Kondensator der Frequenzweiche werden auf der Rückseite des Brettes montiert. Die Lautsprecher müssen an den Rändern der Öffnungen des Brettes luftdicht montiert werden. Die Lautsprecherleitung wird durch eine enge Durchbohrung durch die Rückwand der Box geführt, die Durchbohrung durch eine über das Kabel gesteckte Gummimuffe abgedichtet.

Zwei Zentimeter hinter der Vorderkante der noch offenen Seite der Box wird an deren Innenwandungen ein Rahmen aus Vierkant-Holzleisten eingeklebt. Dann füllt man den Innenraum der Box mit schallschluckendem Material aus — am besten mit dicken Schaumgummistreifen; mit Textilmaterial nur, wenn die Lautsprecherkörbe nach hinten einen Tuchbezug haben. Das Material soll nicht lose liegen, aber auch noch genügend Platz für die Lautsprecher lassen. Dann wird das Montagebrett mit den Lautsprecherkörben nach hinten in die Box gesetzt und an dem eingeklebten Rahmen festgeschraubt. Die Fugen zwischen Brett und Seitenwänden der Box dichtet man mit breiten Streifen aus Tesakrepp ab.

Jetzt ist die Box nach vorne noch unabgedeckt und sieht nicht gut aus. Vor das Montagebrett der Lautsprecher wird deshalb ein zweites Brett aus Preßspan gesetzt, in das den Lautsprechern entsprechende Schallöffnungen geschnitten sind. Dessen ganze Vorderfläche einschließlich der Seitenkanten wird mit Lautsprecherstoff bezogen. Sehr gut sieht ein loser grauer Stoff aus, in den mit größeren Abständen Kett- und Schußfäden aus hellen Perlonsträngen eingewebt sind, die wie ein Drahtgeflecht aussehen. Ein Metallgeflecht eignet sich nicht. Es kann zu Eigenresonanzen führen. Das Abdeckbrett mit dem Lautsprechertuch läßt sich sehr einfach vor dem Montagebrett der Lautsprecher befestigen, wenn man an die vier Ecken des Brettes vier negative Teile großer Druckknöpfe klebt — am besten mit Uhu-plus — und auf die Rückseite des Abdeckbrettes die entsprechenden vier positiven Teile der Druckknöpfe. Das Abdeckbrett wird dann einfach aufgedrückt und kann jederzeit wieder abgenommen werden.

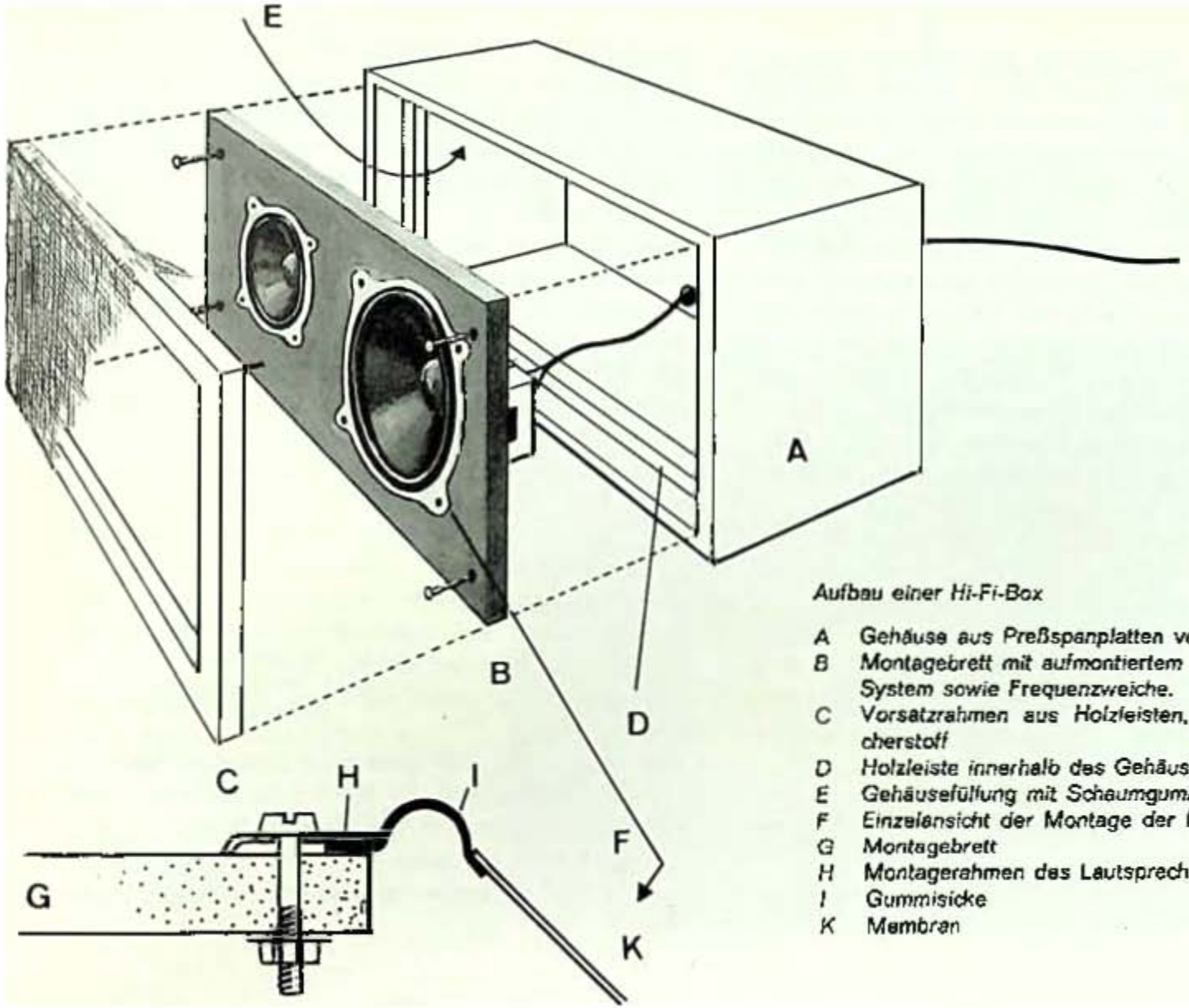
Wenn die Box genügend luftdicht ist, bewegt sich die Membran des Baßlautsprechers nur langsam wieder nach vorn, wenn man sie mit den Fingern gleichmäßig

einige Millimeter nach hinten gedrückt hat. Sie sollte für die Rückstellung bis zu ihrer Ruhelage 4 bis 5 Sekunden brauchen, sonst ist die Luftabdichtung mangelhaft.

Für Stereo sollten beide Boxen völlig gleich gearbeitet sein und dieselben Lautsprechersysteme und Frequenzweichen besitzen.

Mit Hilfe eines genau geschnittenen Montagebrettes und eines passenden Abdeckbrettes lassen sich Lautsprecher auch sehr einfach in Fächer von Wandmöbeln einbauen. Das Fach, das nach hinten abgeschlossen sein muß, bildet dann die Box. Es muß ebenfalls mit schallschluckendem Material gefüllt werden, ehe das Montagebrett mit den Lautsprechern eingesetzt wird. Die vorgeschlagene Befestigung des Abdeckbrettes mit Druckknöpfen erspart Beschädigung äußerer Möbelteile durch Verschraubungen und Verklebungen. „Box" heißt Kasten, und das ist ein reichlich ungenauer Ausdruck. Die Bezeichnung „schall- und luftdichte Unterbringung" wäre besser. Lautsprecher können nämlich auch praktisch unsichtbar in Wände eingebaut werden. Im Hotel Schloß Fuschl wurden in den Gesellschaftsräumen bei der Renovierung Lautsprecher so montiert, daß sie nicht aufzufinden sind. In dem Raum ist dann einfach Stereo-Musik, die man nur hört, die Lautsprecher sollen die Augen nicht beeinflussen. Das ist eine außerordentlich geschickte Unterbringung. In die Wände wurden an den geeigneten Stellen Nischen geschlagen. Ein Mieter kann so etwas natürlich nicht tun. Aber wer ein Haus baut, kann beim Mauern Nischen freilassen. Sie werden später mit Teer oder einem anderen Dichtungsmaterial ausgestrichen und mit schallschluckendem Material gefüllt. Dann wird ein passend geschnittenes Montagebrett mit den Lautsprechern eingesetzt und befestigt, das auch hier möglichst luftdicht die Nische abschließen soll. Die Öffnung der Nische wird, ehe die Wand mit Wandfarbe gestrichen oder tapeziert ist, mit einem lose gewebten Tuch überspannt. Das Tuch wird beim Wandanstrich kurzerhand mit überstrichen oder zutapeziert; die Nische ist nicht mehr zu sehen. Jetzt beginnt eine Geduldsarbeit. Das Tuch mit Farbe oder Tapete muß an der Nischenöffnung mit Tausenden von feinen Nadelstichen perforiert werden, um die Schallabstrahlung nicht zu hemmen. Zwar dämpft das Tuch etwas die hohen Frequenzen, doch kann man dies durch Aufdrehen des Höhenreglers am Verstärker ausgleichen. Lediglich auf etwa 30 cm Abstand läßt sich eine verdeckte Wandlautsprecher-Öffnung noch erkennen, wenn man weiß, wo sie ist. Es ist uns aber nicht gelungen, sie so zu fotografieren, daß sie auf dem Abzug noch erscheint.

Lautsprecheröffnungen durch Bilder, Wandteppiche u. ä. zu verhängen ist Unsinn. Schwere Stoffe dämpfen stark die Schallabstrahlung und beeinflussen den Frequenzgang.



Aufbau einer Hi-Fi-Box

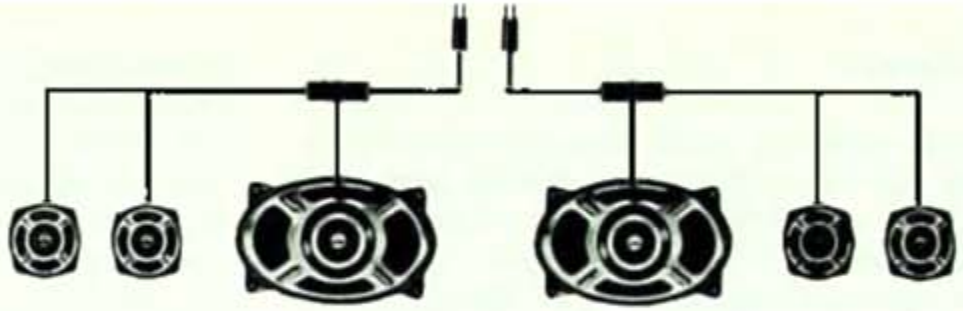
- *A* Gehäuse aus Preßspanplatten verleimt
- *B* Montagebrett mit aufmontiertem Hoch- und Mittel-Tiefton-System sowie Frequenzweiche.
- *C* Vorsatzrahmen aus Holzleisten, bespannt mit Lautsprecherstoff
- *D* Holzleiste innerhalb des Gehäuses zur Montage von B
- *E* Gehäusefüllung mit Schaumgummistücken
- *F* Einzelansicht der Montage der Lautsprechersysteme
- *G* Montagebrett
- *H* Montagerahmen des Lautsprechersystems
- *I* Gummisicke
- *K* Membran

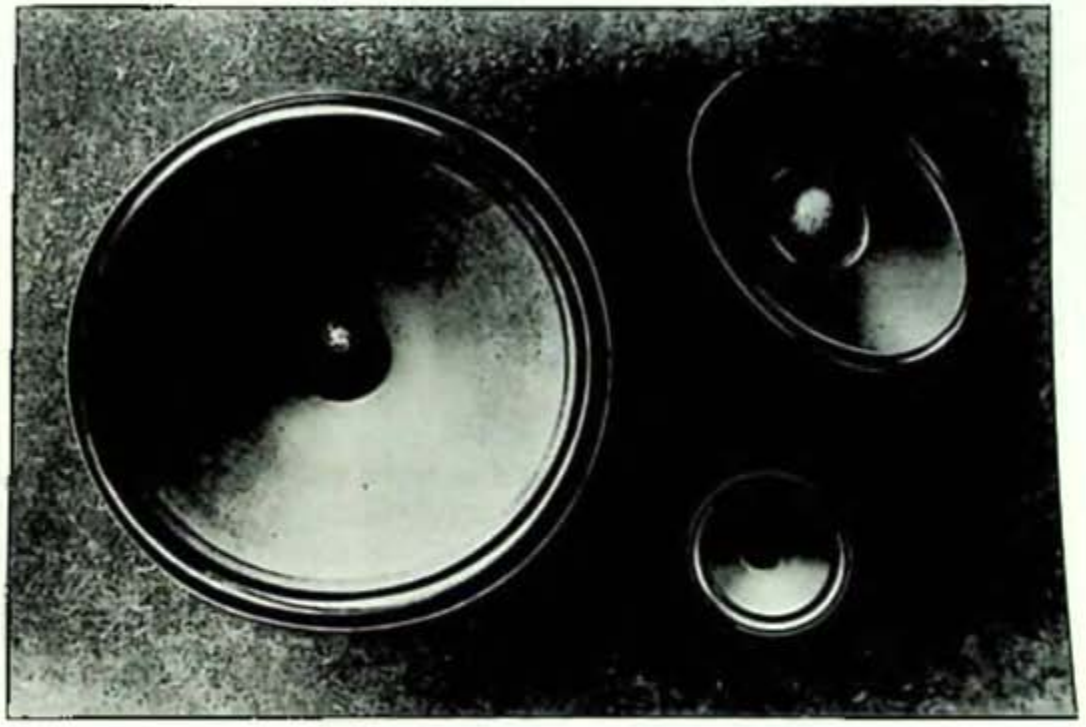
Wer sich die Mühe ersparen will, einzelne Baß- und Hochtonlautsprechersysteme auszusuchen und auf Montagebrettern mit Frequenzweichen zu hochwertigen Strahlern zusammenzuschalten, kann industrielle Lautsprecher-Kombinationen wählen. Solch eine Kombination ist ein Satz von Hoch- und Tiefton-Lautsprechersystemen, die bereits mit Frequenzweichen elektrisch verdrahtet und auf einem Montagebrett, einer kleinen Schallwand, fertig und luftdicht montiert sind. Eine Kombination enthält die beiden betriebsfertigen Schallstrahler für beide Kanäle. Die Kombinationen sind für Leute bestimmt, die Lautsprecher in Wandmöbel und dergleichen einbauen oder einbauen lassen wollen und mit den fertig käuflichen Boxen wegen deren äusserer Gestaltung, dem Furnier u. ä. ihre individuellen Vorstellungen nicht befriedigen können. Außerdem sind sie erheblich billiger als die entsprechenden fertigen Boxen. Man kann damit rechnen, daß eine Kombination — für beide Kanäle — etwa genau so viel kostet wie eine einzige fertige Box. Die beiden Schallbretter mit den Lautsprechern einer Kombination können direkt in selbstgefertigte Boxen eingebaut werden.

Besonders Grundig führt ein ganzes Sortiment solcher Stereo-Lautsprecherkombinationen. Sie sind alle für höchste Wiedergabegüte ausgelegt. Alle haben einen linearen Frequenzbereich von mindestens 50 Hz bis 20 000 Hz. Die meisten werden auch den Normen für Hi-Fi gerecht, sofern sie ordnungsgemäß eingebaut sind. Man kann eine Stereokombination mit Tief- und Hochtonlautsprechern bereits um rund 110,— DM haben. Das ist nicht gerade wenig. Dennoch ist es sehr fraglich, ob der Einzelkauf von zwei geeigneten hochwertigen Hoch- und zwei Tieftonlautsprechern nicht dieselbe Rechnung ergibt. Die Einzelteile des Röhrenverstärkers kommen bei günstigem Einkauf auch auf etwa 100,— DM.

Man kann diesen Röhrenverstärker natürlich mit den einfachen Stereo-Lautsprechern betreiben, deren Bau für den kleinen Transistor-Verstärker beschrieben wurde. Mit ihnen ergibt er eine hübsche Musikanlage. Aber die Beschränkung der Wiedergabequalität liegt dann bei den Lautsprechern. Für den Röhrenverstärker sind schon sehr hochwertige Strahler mit Tief- und Hochton-Lautsprecher notwendig, um seine Wiedergabequalität voll auszunutzen. Auch echte Hi-Fi-Klangstrahler sind keineswegs zu schade für ihn, obwohl das Gerät selbst nicht den Hi-Fi-Normen entspricht.

Aber wenn man sich weiter auf Stereo einläßt, soll man auf keinen Fall an den Lautsprechern sparen, sonst verbaut man sich den Weg zu höchsten Wiedergabequalitäten. Für jeden besseren Verstärker müßte man sich dann wiederum bessere Lautsprecher zulegen.





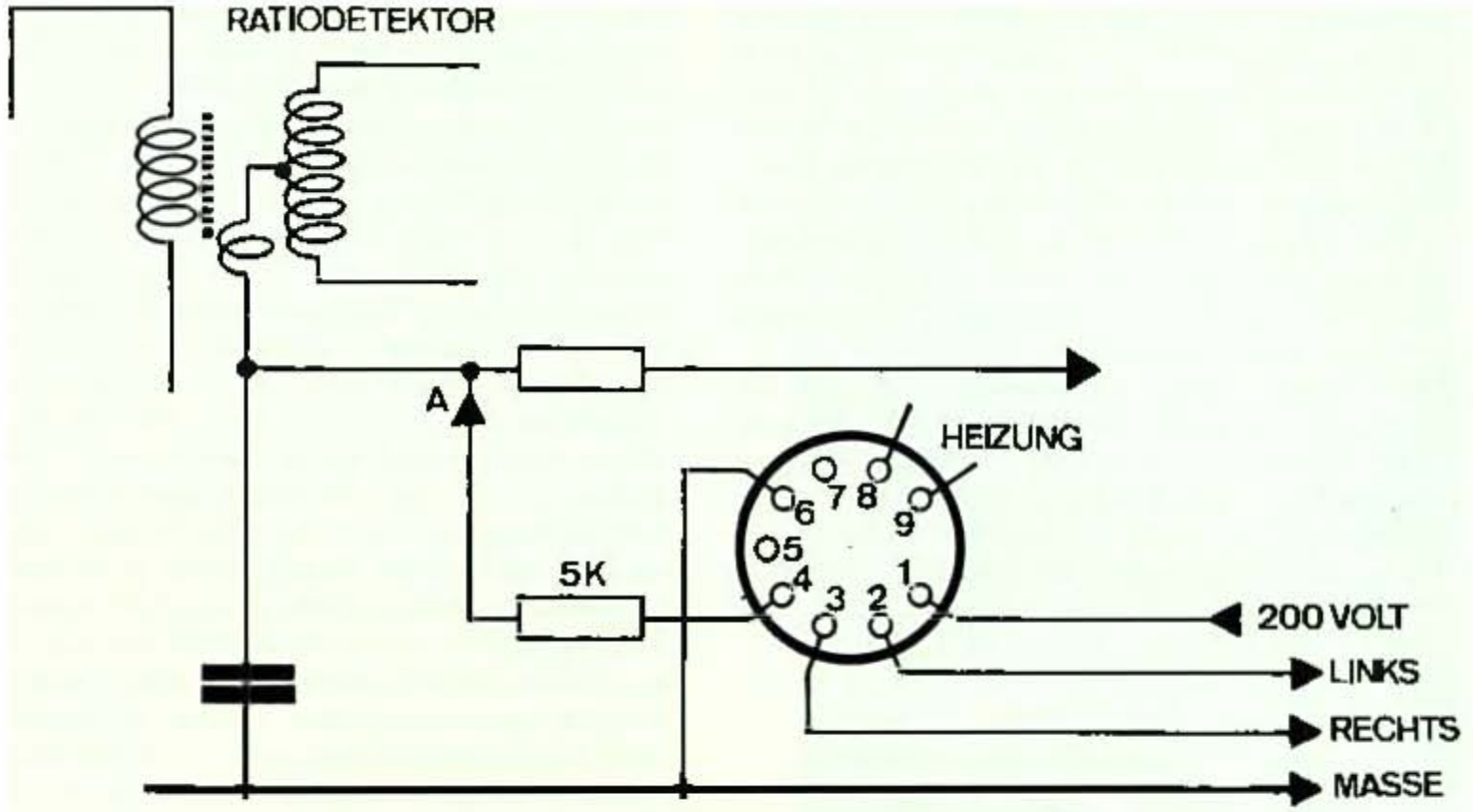
Eine Lautsprecherkombination besteht aus zwei betriebsfertig zuzusammengeschalteten Lautsprecher-Zusammenstellungen mit Hoch- und Tieftonlautsprechern für je einen Kanal. Die Zeichnung zeigt das Prinzip. Die Systeme sind auf je einer Montageplatte befestigt. Praktisch sieht das aus wie unten. Die Kombination muß in zwei gleichartige Boxen eingebaut werden.

Stereo-Decoder

Ein Stereo-Verstärker bringt keine stereophone Wiedergabe von Stereo-Rundfunksendungen, wenn man ihn einfach an die Diodenbuchse eines Rundfunkempfängers anschließt. Bei Stereosendungen werden zwar zwei Modulationen übertragen — die für den rechten und die für den linken Kanal. Das geht aber mit einer einzigen Trägerwelle nur, wenn man einen zusätzlichen Hilfsträger moduliert und als dessen Seitenbänder die beiden Modulationen nach dem Summen-Differenz-Verfahren umgewandelt überträgt. Damit die Wiedergabe stereophon wird, muß in einer Matrixschaltung das Summen-Differenzsignal in die getrennten Rechts- und Links-Modulationen zurückverwandelt werden. Das tut der Ratiodetektor eines normalen UKW-Rundfunkempfängers nicht. Er kann den Hilfsträger nicht verarbeiten und gibt nur das Summen-Signal demoduliert wieder. Das ist dann die monophone Darbietung der stereophonen Aufnahme.

Um die Stereo-Sendung stereophon über einen Stereoverstärker wiederzugeben, muß dem Ratiodetektor ein sogenannter Stereo-Decoder nachgeschaltet werden. Das ist eine Röhren- oder Transistorschaltung, die durch Frequenzverdopplung den vom Stereosender unterdrückten Hilfsträger wieder herstellt und in einer angeschlossenen Matrix die Rechts-Links-Signale trennt. Da dies kein Buch über Hochfrequenztechnik ist, beschreiben wir nicht den Selbstbau eines Stereo-Decoders. Es wäre auch fraglich, ob sich bei solch einem Gerät der Selbstbau rentieren würde, selbst wenn die dazu notwendigen Meßinstrumente vorhanden wären. Man kann nämlich Stereo-Decoder betriebsfertig geschaltet kaufen, es gibt schon welche um rund 50,— DM. Die teueren schalten sich bei Stereo-Sendungen automatisch ein.

Es rentiert sich durchaus, an einen vorhandenen hochwertigen normalen UKW-Empfänger einen Decoder anzuschliessen, um über den Stereo-Verstärker dann stereophone Rundfunksendungen auch in Stereo zu hören oder über ein Stereo-Tonbandgerät aufzuzeichnen. Der Decoder hat nur eine mehradrige Anschlußstrippe mit Stecker. Über die wird er aus dem Rundfunkgerät auch mit Strom versorgt. Der Stecker ist neunpolig. Am Rundfunkgerät muß ein neunpoliger Miniatur-Röhrensockel als Anschlußbuchse montiert werden. Die Eingangsspannung für den Decoder wird hinter dem Ratiodetektor des Rundfunkgerätes abgenommen, vor dem Widerstand für die Deemphasis. An den Ausgang des Detektors wird entsprechend der Schaltzeichnung eine geschirmte Drahtleitung angelötet, die über einen Widerstand von 5 kOhm an den Anschluß 4 des Röhrensockels führt. Anschluß 6 wird an Masse gelegt. Bei eingestecktem Decoder-Anschlußstecker liegt an Anschlußfahne 2 dann das Signal des linken, an Fahne 3 das des rechten Kanals.



Prinzip des Anschlusses einer Buchse für einen Stereo-Decoder an einem Mono-UKW-Empfänger für Stereowiedergabe über Stereoverstärker.
Die Anschlußbelegung ist nicht bei allen industriellen Decodern gleich. Gebrauchsanleitung beachten.

Entsprechend werden die Adern des Anschlußkabels zum Stereoverstärker an die Anschlußfahnen 2 und 3, die Abschirmung des Kabels an die Fahne 6 gelegt. An das andere Ende des Kabels kommt ein Tuchelstecker für den Anschluß an den Stereoverstärker.
Nun müssen noch die Betriebsspannungen für den Decoder an die Buchse gelegt werden. Die Heizspannung des Rundfunkgerätes wird an die Anschlußfahnen 8 und 9 geführt. Fahne 1 wird mit der gesiebten Anodenspannung verbunden.
Bei Decodern verschiedener Fabrikate kann die Belegung der Stifte des Anschlußsteckers verschieden sein. In diesem Fall wird nach dem gleichen Prinzip angeschlossen. Die einzelnen Leitungen müssen aber der Belegung entsprechend an die Anschlußfahnen der Buchse geführt werden. Beim Kauf eines Decoders erkundige man sich deshalb genau über die Steckerbelegung.

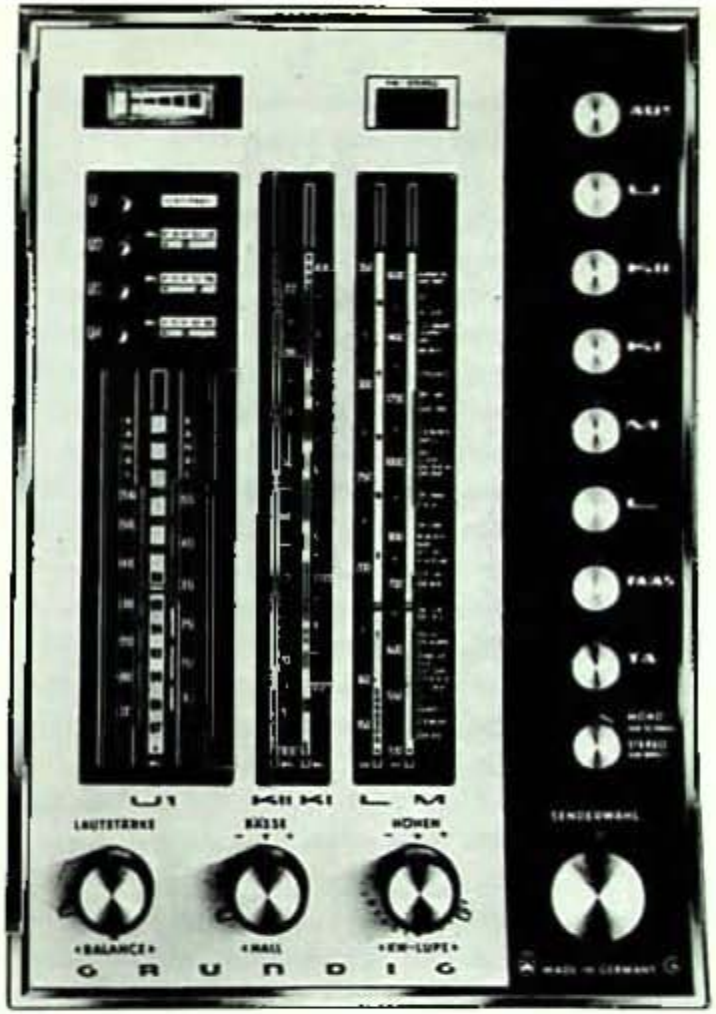
Industrie-Bausteine

Daß die Industrie Stereo-Verstärker und Stereo-Hi-Fi-Geräte mit Preisen bis zu DM 15 000,— anbietet, ist bekannt. Weniger bekannt ist dagegen, daß es industriell gefertigte Stereo-Steuergeräte ohne Gehäuse zum Selbsteinbau ab etwa DM 400,— gibt.
Ein Steuergerät ist ein Rundfunkempfänger mit Stereo-Empfang auf UKW, der mit einem vollwertigen Stereo-Verstärker auf einem Chassis zusammengebaut ist, aber keine Lautsprecher besitzt. Den Erfordernissen der Stereo-Wiedergabe entsprechend werden über Kabel und Stecker zwei Boxen angeschlossen. Steuergeräte, die man wie Radios oder andere fertige Geräte kauft, interessieren hier nicht, wohl aber betriebsfertig gebaute Geräte dieser Art, die als Bausteine ohne Gehäuse verkauft werden. Für Leute, die ohnehin planen, sich gelegentlich einen neuen Rundfunkempfänger zu kaufen, kann die Anschaffung solch eines Bausteins günstiger sein als der Selbstbau eines Stereoverstärkers und der Kauf eines normalen Rundfunkempfängers — auch dann, wenn diese Leute lieber selbst bauen als fertig kaufen. Um den Heimwerkern, die immer zahlreicher werden, entgegenzukommen, hat Grundig seit einigen Jahren solche Baustein-Steuergeräte ohne Gehäuse entwickelt. Im Prinzip sind es die nackten betriebsfertigen Eingeweide mit Skala und Bedienungsknöpfen von Steuergeräten, die unter anderer Bezeichnung mit Gehäuse als Fertig-Geräte verkauft werden.
Baustein-Einbaugeräte gibt es aber auch für normgerechtes Hi-Fi. Allerdings wird die Sache dann schon

beträchtlich teurer, obwohl die DM 850,—, die ein HF 500 etwa kostet, für einen Stereo-Tuner mit Stereo-Verstärker und 2 × 15 Watt Ausgangsleistung in Tonstudio-Qualität zusammen ganz bestimmt nicht übertrieben hoch sind. Das Gerät ist volltransistorisiert und ebenfalls für den Selbsteinbau vorgesehen.

Hi-Fi im Selbstbau

Der Selbstbau läßt sich nicht immer damit rechtfertigen, daß er billiger sei. In vielen Fällen stimmt das nicht. Aber im Selbstbau kann man Geräte und Anlagen nach eigenen Wünschen völlig individuell zusammenstellen, wie sie die Industrie nicht fertig liefern kann. Die muß sich immer auf einige Typen beschränken, sonst kann sie nicht rationell fabrizieren.



Der HF 500 ist ein Tuner-Verstärker ohne Gehäuse. Er besteht aus einem Rundfunkempfänger mit Stereo-UKW-Teil und eingebautem 2 x 20-Watt-Stereo-Hi-Fi-Verstärker mit Plattenspieler-, Tonbandgerät- und Mikrofonanschluß.

Bausteingeräte dieser Art sind für Selbstbauer und Heimwerker, aber auch für Möbelschreinereien u. a., bestimmt, die in Mobiliar eingebaute Geräte liefern. Die Aufnahme zeigt die Einbau-Frontplatte. (Grundig)

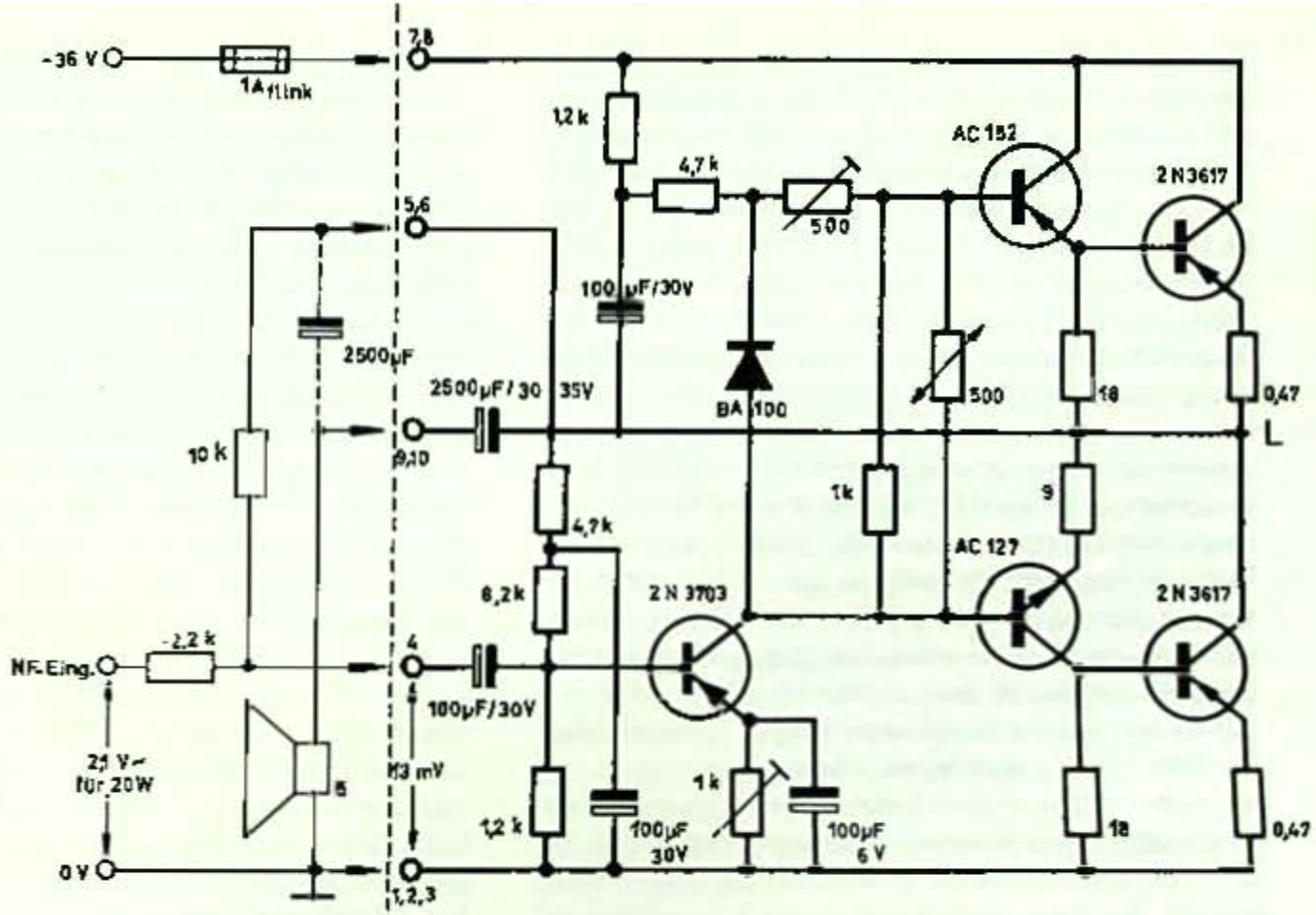
Beim Selbstzusammenstellen von Anlagen spielt aber die aufgewendete Freizeit keine Rolle.

Ohne Zweifel kann man auch Hi-Fi-Geräte, die den Normen entsprechen, selbst herstellen. Allerdings ist es hier mit dem Schaltbild allein nicht getan. Das exakte Funktionieren bis auf die letzte Nuance hängt auch von Einstellung und Trimmung ab. Hierfür braucht man nicht nur Meßinstrumente, sondern auch Erfahrung in der Meßtechnik. Zum Bau eines Hi-Fi-Verstärkers ist weiter nichts notwendig als ein mittelmäßiges Vielfach-Meßinstrument. Um diesen Verstärker dann so hinzutrimmen und einzustellen, daß er praktisch keine Verzerrungen mehr produziert, sind Rechteckgenerator und Oszillograf fast unerläßlich.

Dies ist der Grund, warum hier nicht empfohlen wird, insbesondere Transistor-Leistungsendstufen für Hi-Fi-Verstärker selbst zu bauen. Es wird Leute geben, die sich an diese Empfehlung nicht halten und es trotzdem tun. Das ist gut so, denn einige dieser Hartnäckigen werden dabei die notwendigen Erfahrungen erwerben. Es ist aber keineswegs notwendig, zuerst ein geübter NF-Techniker zu werden, um sich eine Hi-Fi-Anlage selbst zu bauen und zusammenzustellen. Man kann durchkonstruierte Bausätze benutzen und kritischere Schaltungsteile als fertig verdrahtete und betriebsfähige Baugruppen kaufen — genau so wie die kleinen NF-Transistor-Bausteine der kleinen Transistor-Stereo-Anlage am Anfang dieses Buches.

Eisenlose Hochleistungsendstufe

Besondere Schwierigkeiten bereitet beim Bau einer Transistor-Endstufe hoher Leistung bei Hi-Fi-Qualität die Symmetrierung. Das zeigt die Beschreibung solch einer Endstufe. Das Schaltbild einer eisenlosen Endstufe der Firma WALTER-Elektronik in Laichingen, die bei 42 Volt Betriebsspannung eine Ausgangsleistung von rund 30 Watt bringt, soll hier als Beispiel besprochen werden. Transformatoren neigen um so mehr zu Verzerrungen, je stärker sie belastet werden und je mehr Leistung sie übertragen müssen. Für 30 Watt brauchte man überdimensionale Transformatoren mit massigen Eisenkernen, die auch bei solch einer Leistung erst teilweise ausgelastet sind, um verzerrungsfrei zu übertragen. Aber mit Transistoren erreicht man solch niedrige Ausgangswiderstände, daß man Lautsprecher ohne Übertrager anschließen kann. Alle modernen Endstufen für höhere Ausgangsleistung bei Hi-Fi-Qualität werden daher mit Transistoren in Gegentaktschaltung ohne Transformatoren aufgebaut. In Eintaktschaltung würde man nur wesentlich geringere Ausgangsleistungen erreichen. Es würden dabei so hohe Ruheströme fließen, daß die Transistoren übermäßig belastet und heiß würden. Die Transistoren werden direkt galvanisch gekoppelt. Dann können auch keine Verfälschungen durch den Frequenzgang von Koppelkondensatoren auftreten.



Das Schaltbild der eisenlosen Endstufe der Walter-Elektronik, das zur Klärung des Prinzips hier veröffentlicht wird. Stromzuführung, Anschluß von den Vorstufen und Lautsprecher sind hier links von der gestrichelten Linie gezeichnet.

Bei der Gegentaktschaltung soll — analog zur Gegentaktschaltung mit Röhren — ein Transistor immer die positiven, der andere immer nur die negativen Halbwellen der Schwingungszüge übertragen. Das muß aber äußerst exakt erfolgen. Verstärkt einer der beiden Transistoren etwas mehr als der andere, setzt der Stromzufluß durch einen Transistor nur einen winzigen Augenblick früher oder später ein als der Stromfluß durch den anderen Transistor aufhört, dann setzen sich die beiden Halbwellen nicht mehr harmonisch und exakt zu einem durchgehenden Wellenzug zusammen. Es gibt Zacken und Staffeln in der Schwingungskurve. Sie machen sich als außerordentlich störende Verzerrungen bemerkbar, als Klirren.

Beide Endtransistoren müssen also völlig gleichmäßig arbeiten und sollten in allen ihren Daten absolut identisch sein. Die einzelnen Transistorexemplare müssen ausgesucht sein, damit es ein zusammenpassendes Paar gibt. Reststreuungen können durch die Einstellung ausgeglichen werden.

Ungleichmäßiges Arbeiten kann aber auch durch ungleichmäßige Ansteuerung entstehen. Deshalb müssen auch die Treiber-Transistoren völlig gleichmäßig arbeiten. Ihr Arbeitspunkt muß genau eingestellt werden.

Die Treibertransistoren werden durch einen Transistor in Emitterschaltung 2 N 3703 angesteuert. Die Kollektor-Emitterstrecken beider Treiber sind in Reihe geschaltet. An jedem Transistor wirkt deshalb die halbe Betriebsspannung. Bei 36 Volt Betriebsspannung liegt damit die Basisvorspannung des oberen Treibertransistors um 18 Volt höher gegen Null als des unteren. Die Basisanschlüsse beider Treiber sind parallel an den Kollektor des Vortransistors geführt. Der Vortransistor bildet zusammen mit der Diode BA 100, den Widerständen 1 kOhm, 500 Ohm NTC, dem Arbeitswiderstand 4,7 kOhm und dem Widerstand 1,2 kOhm den Spannungsteiler für die Basisvorspannungen der beiden Treiber. Der Ruhestrom des Vortransistors muß so eingestellt sein, daß sich durch die Spannungsabfälle an seinem Innenwiderstand und an den übrigen Widerständen die benötigten Basisvorspannungen exakt einstellen.

Die Phasendrehung zur Ansteuerung der Endtransistoren wird dadurch erreicht, daß für die Treiber ein komplementäres Transistorpaar verwendet wird. Der untere Treiber ist ein npn-Transistor, dessen Emitter an negativer Spannung gegenüber dem Kollektor liegt und der nur durch positive Halbwellen stromführend wird. Der obere Treiber ist ein pnp-Transistor mit analogen Werten, Emitter positiv gegen den Kollektor. Er wird durch die negativen Halbwellen aufgesteuert. Wenn auf die Basis des Vorstufentransistors eine NF-Steuerspannung kommt, so wird sie zunächst von dem in Emitterschaltung ganz normal arbeitenden Vortransistor verstärkt. Während einer negativen

Halbwelle steigt dessen Kollektorstrom, die Spannung am Kollektor wird durch den Spannungsabfall am Arbeitswiderstand positiver, damit auch die Spannung an den Basisanschlüssen der Treiber. Der obere pnp-Treiber wird dadurch nicht beeinflußt, denn er reagiert nur auf sinkende Basisspannung. Der untere npn-Treiber wird aber aufgesteuert und läßt Kollektorstrom fließen, genau entsprechend der positiven Spannungsänderung an seiner Basis. Dadurch entsteht über seinen Emitterwiderstand ein negativer Spannungsabfall und der steuert den angeschlossenen unteren Endtransistor auf. Der Stromfluß durch den Transistor bedeutet sinkenden Innenwiderstand. Dadurch wird sein Kollektor positiver. Am Verbindungspunkt L des Kollektors des unteren und des Emitterwiderstandes des oberen Endtransistors, an dem im Ruhestand genau die halbe Betriebsspannung liegt, wird die Spannung ebenfalls positiver. Der Punkt L ist über einen Elektrolytkondensator hoher Kapazität mit dem Lautsprecher verbunden. Über die Schwingspule des Lautsprechers fließt ein der Spannungsänderung an L entsprechender Ausgleichsstrom: der Strom der verstärkten positiven Halbwelle.

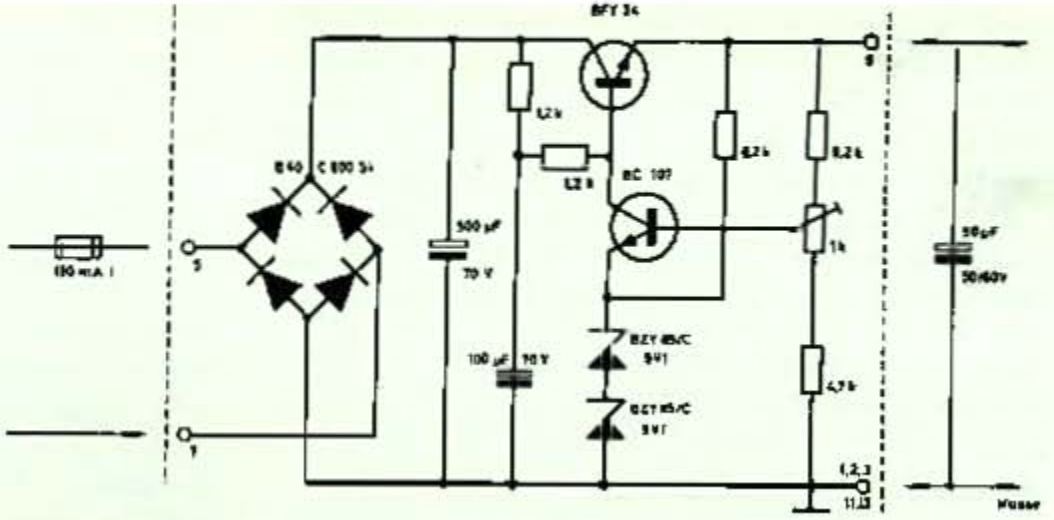
Während der positiven Halbwelle der NF-Steuerspannung am Vortransistor dagegen nimmt dessen Kollektorstrom ab und seine Kollektorspannung wird negativer. Diese negative Spannung an den Basisanschlüssen kann aber nur den oberen pnp-Treiber aufsteuern. Der steuert den an seinem Emitter angeschlossenen oberen Endtransistor auf, durch den jetzt mehr negative Spannung an den Verbindungspunkt L gelangt. Dort wird die Spannung also entsprechend negativer. Wieder fließt ein Ausgleichsstrom über die Schwingspule des Lautsprechers, aber in umgekehrter Richtung: der Strom der negativen Halbwelle.

Am Punkt L werden also die beiden getrennt verstärkten positiven und negativen Halbwellen wieder zu einem einheitlichen Wellenzug zusammengesetzt. Die Leitung von L über den Koppel-Elko zum Lautsprecher ist mit den Emitteranschlüssen der beiden Treiber über deren Emitterwiderstände verbunden. Auf die Spannung, die jeweils auf dieser Leitung herrscht, beziehen sich die an den Treibern wirksamen Basisspannungen. Dadurch ergibt sich automatisch eine kräftige Gegenkopplung der Endstufe. Außerdem bildet diese Leitung den oberen Anschlußpunkt des Basis-Spannungteilers des Vortransistors.

Zur Vollaussteuerung dieser Schaltung ist eine Steuerspannung an der Basis des Vortransistors von rund 2 Volt Spitze-Spitze erforderlich. Dazu braucht man einen Vorverstärker, der ähnlich dem Vorverstärker der kleinen Transistor-Stereo-Schaltung am Anfang dieses Buches aufgebaut sein kann, aber noch zwei weitere Verstärkerstufen mit Transistoren mittlerer Leistung — möglichst sorgfältig gegengekoppelt — besitzt. Die links von der gestrichelten senkrechten

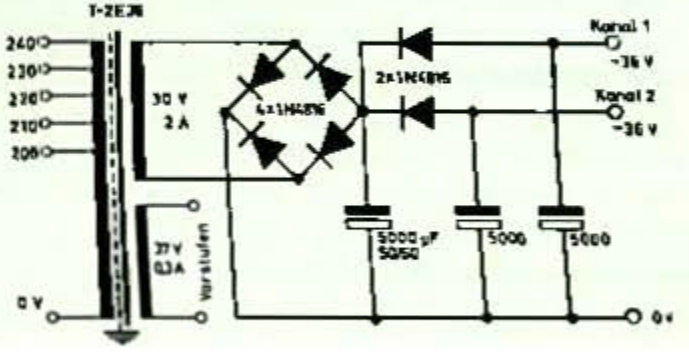
Linie auf der Schaltzeichnung dargestellten Schaltelemente sind in der Schaltung selbst nicht enthalten und zeigen die Anschlüsse für die Ansteuerung, den Lautsprecher und die Stromzuführung.
Bei der Betriebseinstellung solch einer Endstufe muß zunächst an den NF-Eingang ein Sinus-Signal gelegt werden. Dann muß man statt des Lautsprechers einen 4-Ohm-Widerstand mit einer Belastbarkeit von mindestens 20 Watt anschließen und die Lautsprecher-Anschlüsse mit dem Eingang eines Oszillografen verbinden. Die Ausgangsspannung zeigt sich dann auf dem Schirm der Oszillografenröhre als Sinuskurve. Dann muß die Eingangsspannung so weit erhöht werden, daß eine leichte Übersteuerung eintritt und sich die Kuppen der Sinuskurve abzuflachen beginnen. Der Trimmer 1 kOhm wird dann so eingestellt, daß die positive und die negative Halbwelle genau gleiche Abflachung zeigen. Damit ist der Kollektorstrom des Vortransistors so eingestellt, daß die Basisvorspannung beider Treiber zur Ruhespannung der Mittelleitung zum Punkt L gleich groß ist bzw. beide Endtransistoren genau gleich stark durchgesteuert werden und symmetrisch verstärken.
Außerdem muß noch der Ruhestrom des Verstärkers auf 30 mA eingeregelt werden. Dazu wird der Trimmer 500 Ohm in der Basiszuleitung zum oberen Treiber so verstellt, daß ein Meßinstrument in der Minusleitung genau 30 mA anzeigt, wenn der Verstärker nicht angesteuert wird und der NF-Eingang kurzgeschlossen ist. Treiber und Endtransistoren sind damit auf den richtigen Arbeitspunkt für B-Betrieb eingestellt.

Endverstärker dieser Art, die fertig bezogen werden können, sind jedoch meist bereits genau eingestellt und überprüft. Die Methode der Einstellung ist prinzipiell auch bei allen anderen Transistor-Gegentaktendstufen dieser Art gleich. Für Stereo-Wiedergabe braucht man natürlich zwei gleichartige Endverstärker — für jeden Kanal einen — an einem zweikanaligen Vorverstärker. Prinzipiell werden sie genau so zusammengeschaltet wie die beiden Verstärkerbausteine des Klein-Verstärkers.
Ein Endverstärker dieser Art braucht kein stabilisiertes Netzteil, wenn die Siebkondensatoren hohe Kapazitäten haben. Das Bild Seite 60 zeigt ein einfaches Netzteil mit getrennten Ausgängen für je einen Kanal, so daß bei starker Durchsteuerung eines Endverstärkers die Spannung des anderen stabil bleibt und gegenseitige Beeinflussung vermieden wird.
Die Betriebsspannung für die Vorstufe sollte allerdings nicht aus demselben Netzteil bezogen werden. Der Trafo hat eine getrennte Wicklung für die Stromversorgung der Vorstufen, an die ein gesonderter Gleichrichter und eine Siebkette mit Spannungsstabilisierung angeschlossen wird.
Bei der Versorgung der End- und der Vorstufen aus



Beispiel einer stabilisierten Stromversorgung für die Vorstufen. Sie ist vorgesehen für die zweite Wicklung des Netztrafos des Endstufen-Netzgerätes. Bei 45 V-Eingang kann die Vorstufe zwar 50 V liefern, es genügt jedoch ein Anschluß an eine 30 Volt-Wicklung für den Reuter-Verstärker. Die Ausgangsspannung kann mit dem Trimmpot geregelt werden. Der Regelbereich wird größer, wenn statt dem 1 kΩ-Trimmer ein 5 kΩ-Trimmer verwendet und statt des Widerstandes 4,7 kΩ ein Widerstand von 500 Ω in die Schaltung gelegt wird.

Endstufen-Netzgerät (Walter-Elektronik) als Beispiel einer Stromversorgung mit getrennten Ausgängen für jeden Kanal. Eine derartige Schaltung kann auch zur Stromversorgung des Reuter-Hi-Fi-Verstärkers verwendet werden. Die um 4 Volt höhere Spannung an den Ausgängen ist belanglos. Es wird jedoch empfohlen, einen Netztrafo zu verwenden, der eine Vorstufen-Wicklung von 30 statt von 37 Volt besitzt.



einer gemeinsamen Sieb- und Gleichrichterkette ergeben sich bei starken Durchsteuerungen mit Sicherheit höchst unliebsame Rückwirkungen auf die Vorstufen, die sich natürlich nach hinten auswirken und überhaupt nicht mit der Forderung nach höchster Wiedergabegenauigkeit in Einklang zu bringen sind. Bei dem Aufwand, der für vorzügliche Wiedergabe notwendig ist, sollte man nicht ausgerechnet am Netzteil sparen.

Stromversorgung mit Autoakkus

Eine ganz vorzügliche Spannungsversorgung läßt sich mit alten Autobatterien erreichen. Das klingt zwar etwas seltsam, aber solche Batterien ergeben die bestmögliche Siebung. Sie werden nur als Puffer benutzt. Ausgediente Autobatterien sind bei größeren Tankstellen meist um 4,— bis 6,— DM zu kaufen. Wenn sie im Auto ausgedient haben, taugen sie nicht mehr dazu, die 100 oder mehr Ampere für den Anlasser ohne zu großen Spannungsabfall zu liefern. Mehr als 1 Ampere braucht jedoch auch ein sehr kräftiger Stereo-Verstärker bei Vollaussteuerung im Durchschnitt nicht, und das schaffen solche Akkus noch viele Jahre spielend. Bei noch erträglicher Zimmerlautstärke sind es sogar nicht mehr als 100 mA durchschnittlich, denn 0,1 Ampere ergeben bei 36 Volt immerhin schon 3,6 Watt. 36 Volt erhält man, wenn man 3 Batterien von je 12 Volt hintereinanderschaltet. Nach der ersten Batterie kann man 12 Volt für die Vorstufen abgreifen.
Der ganze Batteriesatz wird an ein kleines selbstgebautes Ladegerät mit einer einfachen Siebkette gehängt, das ständig über einen höheren Widerstand mit 5 bis 8 mA nachlädt. Die Nachladung braucht niemals abgeschaltet zu werden. Bei diesem geringen Ladestrom werden die Batterien nicht überladen, sind aber ständig vollgeladen. Eine große Autobatterie entspricht einem Kondensator von vielen Tausend Mikrofarad. Ihr Innenwiderstand ist winzig klein.
Ständig unter schwachem Ladestrom stehende Autoakkus brauchen keine weitere Wartung. Es genügt, alle zwei Monate destilliertes Wasser nachzufüllen. Das gibt auch keine Säureflecken. Wer seinen Transistor-Stereo-Großverstärker täglich viele Stunden benutzt, kann auch mit 20 mA nachladen.
Man darf aber unter keinen Umständen vergessen, die Kabel, die von solch einer Batterie zum Verbraucher führen, direkt am positiven oder negativen Batterieanschluß mit einer flinken Schmelzsicherung für höchstens 6 Ampere abzusichern. Dazu kann man eine entsprechende Sicherungspatrone für Netzsicherung benutzen. Bei Kurzschluß fließen aus einem Autoakku extrem hohe Ströme, die auch stärkste Leitungskabel sofort zur Rotglut erhitzen.

Kompletter Hi-Fi-Stereo-Verstärker mit Transistoren

Ursprünglich wurden die Transistoren in erster Linie für Geräte entwickelt, die wenig Strom brauchen sollen. Da man für Transistoren keine hohen Spannungen braucht wie für Röhren, wurden sie besonders für Batteriegeräte verwendet. Seit einiger Zeit werden Transistoren aber auch für Netzgeräte benutzt, die man gut mit Röhren bestücken könnte, weil es bei ihnen ja nicht auf den Stromverbrauch ankommt.

Aber Transistoren haben einige entscheidende Vorteile. Wenn sie nicht überlastet werden, haben sie eine praktisch unbegrenzte Betriebsdauer. In ihnen glüht keine Katode, deren Oberfläche langsam verdampft. Da man Transistoren normalerweise nicht auswechseln muß, kann man sie direkt wie Widerstände und Kondensatoren in die Schaltung einlöten.

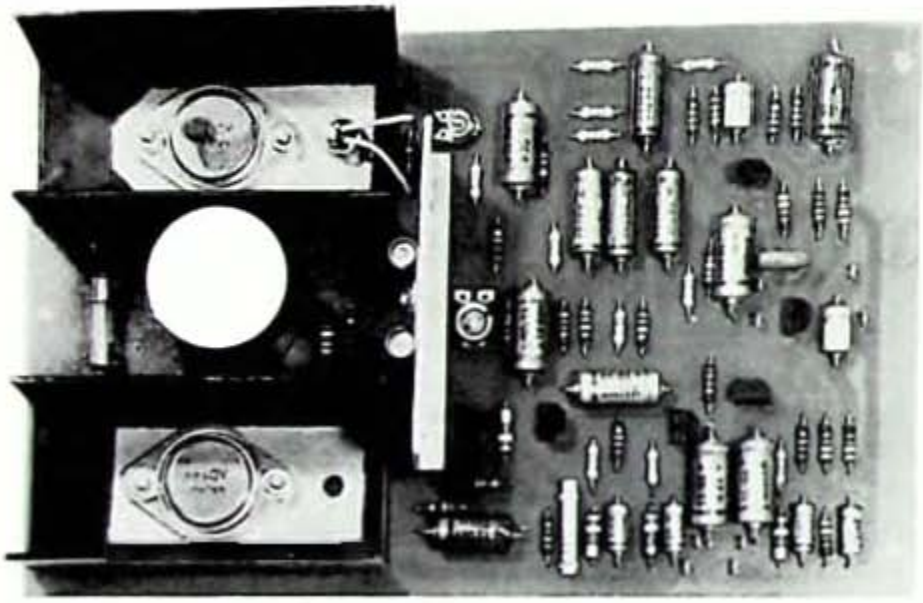
Transistoren sind so klein wie Widerstände und sparen Platz. Die Schaltungen werden kleiner, die Geräte auch.

Transistoren entwickeln — mit Ausnahme der Leistungstransistoren — praktisch keine Wärme. Das ist außerordentlich wichtig. Wer einmal ältere, ausschließlich mit Röhren bestückte Fernsehgeräte auf der Gehäuseoberseite berührt und die fast schwarz gesengten Stellen auf den Platten der gedruckten Schaltungen gesehen hat, kann sich vorstellen, welche Probleme die Wärmeabfuhr bei Geräten mit vielen Röhren bereitet. In den Gehäusen muß Luft zirkulieren können; dazu müssen sie eine gewisse Größe haben. Bei Geräten, die mit Transistoren bestückt sind, ist dies nicht nötig. Die moderne flache Bauweise von Geräten ist in erster Linie eine Folge der Transistortechnik.

Für Hi-Fi-Verstärker ist dies jedoch alles nicht so wichtig wie eine weitere Eigenschaft der Transistoren: ihre niederohmige Arbeitsweise. Darunter versteht man, daß Transistoren grundsätzlich bei kleineren Spannungen mit verhältnismäßig starken Strömen arbeiten. Bei Röhren ist es genau umgekehrt. Der Strom durch Verstärkerröhren mit hohen Arbeitswiderständen von 200 kOhm, wie sie bei Vorstufen von Verstärkern üblich sind, ist geringer als 1 mA, drei- bis fünfmal kleiner als durch einen Vorstufentransistor, aber die Spannung ist wesentlich höher.

Was die Hochohmigkeit von Röhrenschaltungen und die Niederohmigkeit von Transistoren bedeutet, möchte ich mit einem Vergleich klarmachen, der zwar nicht ganz exakt ist, aber doch eine gute Vorstellung davon gibt, welche verschiedenartigen Bedingungen herrschen.

Stellen Sie sich mal ein System von Rohrleitungen mit Umleitungshähnen, Schiebern, Kolbenpumpen und kleinen Wasserturbinen vor, in dem durch Wasserströmung Energie übertragen werden soll. Man kann dieselbe Energie durch einen starken Wasserfluß in weiten Rohren bei entsprechend kleinem Druck und in



Auf der Schaltungsplatte komplett aufgebauter Hi-Fi-Transistor-Verstärker mit 20 Watt Ausgangsleistung. Die beiden Endtransistoren sind auf großflächigen Kühlblechen montiert. Rechts davor sitzen die Treiber auf einem gemeinsamen Kühlblech.
Zwei solche Verstärker zusammengeschaltet mit Tonfilter-Schaltungsplatte ergeben einen hochwertigen Stereo-Hi-Fi-Verstärker

(Bausatz Reuter)

sehr engen Rohren bei kleinem Wasserfluß und entsprechend hohem Druck übertragen. In dem engen System mit hohem Druck führt jede Änderung des Wasserflusses, etwa durch Öffnen oder Schließen eines Sperrhahnens, zu einer Druckwelle, die sich in dem System fortpflanzen will; es kann allein durch den Wasserdruck zu Schwingungserscheinungen kommen, daß die Rohre zittern.

In dem Leitungssystem mit den weiten Röhren, in dem größere Wassermengen unter geringem Druck fließen, gibt es das kaum. In ihm geht alles viel gedämpfter vor sich. Es neigt nicht zu Stoß- und Schwingungserscheinungen. Die dazu notwendige hohe „Wasserspannung" fehlt.

Das System mit den engen Rohren ist analog der Röhrenschaltung, das mit den weiten Rohren gleicht der Transistorschaltung. In der Röhrenschaltung sitzen hohe Widerstände, gegen Schwingneigungen ist eine geringe Dämpfung vorhanden. Jede Schwingung hat das Bestreben, im alten Takt weiterzuschwingen, auch wenn die Schwingfrequenz, mit der die Schaltung angesteuert wird, sich ändert.

In der niederohmigen Transistorschaltung sind alle Schwingungen durch die relativ niedrigen Widerstände stark gedämpft und die Schwingamplituden erreichen keine höheren Werte. Dafür sind die Schwingströme größer. Die niederohmige Transistorschaltung neigt sehr viel weniger zu unerwünschten An- und Ausschwingerscheinungen als die hochohmige Röhrenschaltung.

Unter Anschwingerscheinung versteht man, daß eine Schwingung am Ausgang des Verstärkers erst kurze Zeit anschwingen muß, ehe sie die volle Größe erreicht, die der Ansteuerung entspricht. Ausschwingerscheinung ist das Gegenteil: die Schwingung bricht nicht unmittelbar ab, wenn die Ansteuerung aufhört, sondern setzt sich noch einige Wellenzüge abklingend fort.

An- und Ausschwingerscheinungen dauern zwar nur Millisekunden, aber sie stellen eine Tonverfälschung dar: Kurze Wellenzüge hängen noch über in Bereiche, in die sie nicht hingehören, oder sie setzen etwas zu spät ein. Die Wiedergabe gleicht nicht mehr restlos dem Originalton.

Aus diesen Gründen werden Hi-Fi-Stereo-Verstärker für Studio-Geräte heute vorwiegend mit Transistoren bestückt. Manche Firmen stellen solche Geräte nur noch mit Transistoren bestückt her.

Die Abbildung zeigt die Schaltung eines großen Transistor-Verstärkers für Wiedergabe in Hi-Fi-Qualität mit eisenloser 20-Watt-Gegentaktendstufe bei 36 Volt Betriebsspannung. Das Gerät ist für den Selbstbau als Stereo-Verstärker konstruiert. Die Verstärkerschaltung einschließlich Vorstufe für magnetische Tonabnehmer und Mikrofon für jeweils einen Kanal ist auf einer Schaltungsplatte aufgebaut, damit die Platte auch zum Aufbau einkanaliger Verstärker hoher Leistung und Wiedergabequalität benutzt werden kann. Trotz Stereo braucht man für viele Zwecke, wie Gitarrenverstärker, Mikrofonverstärker zur Übertragung von Reden und Ansprachen, für Verstärker in elektronischen Orgeln und ähnliches, einkanalige Geräte.

Als Stereoverstärker werden also zwei bestückte Schaltungsplatten in einem Gehäuse montiert und an einem Netzteil betrieben, prinzipiell genau so wie bei dem Stereo-Kleinverstärker am Anfang dieses Buches. Für die Schaltung gibt es komplette Bausätze. Man kann die Verstärkereinheiten aber auch betriebsfertig aufgebaut kaufen, so daß besonders das Eintrimmen der Gegentakt-Endstufen entfällt.

Nicht auf der Schaltungsplatte montiert sind die Bauteile des Klangregelnetzwerkes, das die Einstellpots und einen Drucktastenschalter für die Klangtastenwahl enthält und deshalb so montiert werden muß, daß Potachsen und Schaltertasten durch die Vorderwand des Gehäuses ragen. Das Regelnetzwerk besitzt daher eine eigene kleine Schaltungplatte. Deren Leitungsbahnen sind zweikanalig ausgelegt. Es kommen also

Stückliste zu Hi-Fi-Stereo-Verstärker

Widerstände

R 1	220 Ω	R 27	22 kΩ
R 2	220 kΩ	R 28	820 Ω
R 3	39 kΩ	R 29	2,2 kΩ
R 4	15 kΩ	R 30	3,9 kΩ
R 5	4,7 kΩ	R 31	560 Ω
R 6	680 kΩ	R 32	560 Ω
R 7	39 kΩ	R 33	22 kΩ
R 8	68 kΩ	R 34	330 Ω
R 9	470 kΩ	R 35	50 kΩ
R 10	39 kΩ	R 36	3,9 kΩ
R 11	33 kΩ	R 37	470 Ω
R 12	33 kΩ	R 38	1,5 kΩ
R 13	2,7 kΩ	R 39	27 Ω
R 14	220 kΩ	R 40	470 Ω NTC
R 15	1 kΩ	R 41	15 Ω
R 16	56 kΩ	R 42	6,8 Ω
R 17	15 kΩ	R 43	0,22 Ω/1 W
R 18	2,2 kΩ	R 44	3,3 kΩ
R 19	3,9 kΩ	R 45	1 kΩ
R 20	220 kΩ	R 46	4,7 kΩ
R 21	1,5 kΩ	R 47	3,3 kΩ
R 22	56 kΩ	R 48	2,2 kΩ
R 23	15 kΩ	R 49	2,2 kΩ
R 24	2,2 kΩ	R 50	15 Ω
R 25	3,9 kΩ	R 51	0,22 Ω/1 W
R 26	220 kΩ	R 52	330 Ω

PL Lautstärke-Potentiometer 1MΩ log mit Abgriffen

Kondensatoren

C 1	0,1 µF
C 2	50 µF/6 V
C 3	10 µF/6 V
C 4	0,1 µF
C 5	25 µ/8 V
C 6	22 nF
C 7	12 nF
C 8	0,1 µF
C 9	10 µF/6 V
C 10	25 µF/30 V
C 11	25 µF/6 V
C 12	25 µF/30 V
C 13	25 µF/6 V
C 14	25 µF/30 V
C 15	25 µF/6 V
C 16	50 µF/30 V
C 17	390 pF
C 18	250 µF/6 V
C 19	2500 µF/35 V
C 20	25 µF/30 V
C 21	25 µF/30 V
C 22	25 µF/30 V
C 23	25 µF/30 V
C 24	25 µF/30 V
C 25	50 µF/30 V

Transistoren

T 1	BC 149	T 6	BC 149
T 2	BC 149	T 7	AC 127
T 3	BC 149	T 8	AC 132
T 4	BC 149	T 9	AD 149
T 5	BC 149	T 10	AD 149

Diode	BZY 83
DI	Sicherung 1,25 A flink
SI	Lautsprecher-Klinkenstecker (Lautsprecher-Impedanz 4 Ohm)
LST	
EN	Eingang niederohmig
EH	Eingang hochohmig über Vorverstärker

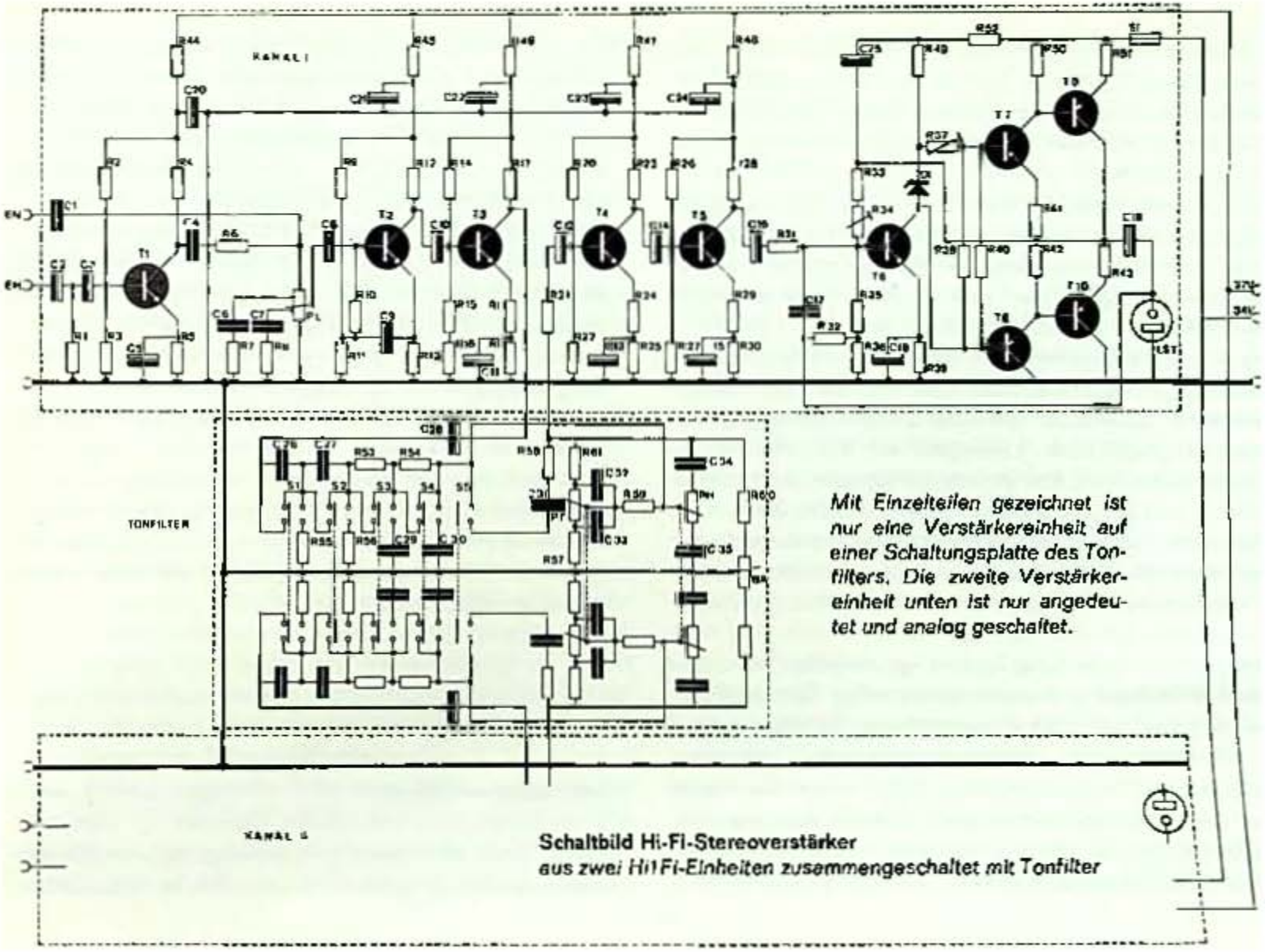
Tonfilter

R 53	330 Ω	R 57	560 Ω
R 54	330 Ω	R 58	18 kΩ
R 55	100 kΩ	R 59	47 kΩ
R 56	100 kΩ	R 60	390 Ω

PT Tiefenregler Potentiometer 47 kΩ + log
PH Höhenregler Potentiometer 47 kΩ + log
BA Balanceregler Potentiometer 1 kΩ lin

C 26	0,15 µF	C 31	3,3 nF
C 27	0,15 µF	C 32	68 nF
C 28	50 µF	C 33	0,47 µF
C 29	4,7 nF	C 34	2,2 nF
C 30	4,7 nF	C 35	47 nF

S1, S2, S3, S4, S5 Umschalter für Frequenzbereichregelung und Linear-Widergabe Drucktastenaggregat 5 x 2 U



Schaltbild Hi-Fi-Stereoverstärker
aus zwei Hi1Fi-Einheiten zusammengeschaltet mit Tonfilter

die Netzwerk-Bauteile beider Verstärkerkanäle auf eine Schaltungsplatte. Für einen einkanaligen Verstärker wird einfach der zweite Kanal der Netzwerk-Platte nicht bestückt; statt Doppelpots werden einfache Pots verwendet.

Die Balanceregelung beim Bau dieser Schaltung als Stereoverstärker erfolgt zwischen den beiden Kanälen der Klangreglerschaltung. In die Schaltung auf den Hauptschaltungsplatten muß deshalb nicht eingegriffen werden.

Auch der Lautstärkeregler mit einer Schaltung für gehörrichtige Regelung sitzt nicht auf der Schaltungsplatte. Er ist ebenso wie das Klangregelnetzwerk mit zwei abgeschirmten Leitungen mit der Schaltungsplatte verbunden. Bei Stereo-Aufbau sind es natürlich vier Leitungen, zu jedem Kanalverstärker zwei.

Das Lautstärkepot besitzt zwei Anzapfungen, an denen Widerstände angelötet sind, die im unteren Teil der Schleiferbahn wirksam sind und die Höhen beschneiden.

Am hochohmigen Eingang beträgt die Empfindlichkeit etwa 40 mV für Vollaussteuerung. Für Schallplattenwiedergabe mit Kristalltonabnehmer, Diodenanschluß an Rundfunkgeräte und Wiedergabe von Tonbandgeräten ist der Vorverstärker unnötig. Wenn das Gerät nur dafür benutzt werden soll, braucht man den betreffenden Teil der Schaltungsplatte — oder Schaltungsplatten bei Stereoverstärkern — nicht zu bestücken.

Die Vorverstärkerschaltung kann man auch nachträglich noch auf die Schaltungsplatten bauen. Der Vorverstärker erhöht die Empfindlichkeit auf etwa 2 mV und enthält das für magnetische Tonabnehmer notwendige Entzerrglied. Für Mikrofonwiedergabe ist der Vorverstärker unbedingt erforderlich.

Auf der Schaltzeichnung ist die Schaltung nur für einen Kanal ausgezeichnet. Die Bauteile innerhalb der gestrichelten Umrandung sitzen direkt auf der Schaltungsplatte. Für den zweiten Kanal ist nur die Umrandung als Block gezeichnet, da diese Schaltung völlig identisch mit der ausgezeichneten ist. Für beide Kanäle gezeichnet ist jedoch das Klangregelnetzwerk. Für den zweiten Kanal werden die Zuleitungen der nicht auf der Schaltungsplatte montierten Teile — Lautstärkeregler, Klangregelnetzwerk und Anschlußbuchsen sowie die Stromquelle — genau gleich an die betreffende Schaltungsplatte geführt wie beim ausgezeichneten Kanalverstärker.

Der Hauptverstärker

besitzt nach dem hochohmigen Eingang vier Verstärkerstufen. Der Eingangstransistor T 2 ist nicht gegen-

gekoppelt, er sitzt direkt hinter dem Lautstärkeregler und kann nicht übersteuert werden. Der Verstärker ist bei 50 mV an der Basis bereits voll ausgesteuert. Der Arbeitspunkt liegt dann alle Fälle noch im geraden Teil der Kennlinie.

Die zweite Verstärkerstufe mit dem Transistor T 3 ist durch den nicht überbrückten Emitterwiderstand gegengekoppelt. Am Ausgang dieser Stufe ist die NF-Spannung so groß, daß sie auf das Klangregelnetzwerk gegeben werden kann. Das Regelnetzwerk arbeitet genau wie die entsprechenden Netzwerke des Transistor-Kleinverstärkers und des Röhrenverstärkers: mit einem Pot kann man mehr oder weniger Anteil an tiefen, mit dem anderen an hohen Frequenzen abgreifen und auf den Ausgang geben, während die mittleren Frequenzen unbeeinflußt bleiben.

Zusätzlich ist das Drucktastenaggregat für Festeinstellungen bei der Wiedergabe vorgesehen. Mit den Tasten werden Siebglieder für bestimmte hohe oder tiefe Frequenzgebiete in die Schaltung gelegt, um der Wiedergabe eine bestimmte Klangfärbung zu geben oder Störgeräusche wie Rumpeln zu dämpfen. Ferner sitzen in dem Regelnetzwerk die Schaltungsteile und der Regler zur Balanceeinstellung.

Die beiden folgenden Verstärkerstufen gleichen die Verluste im Netzwerk wieder aus und verstärken das NF-Signal, so daß es zur Ansteuerung der Endstufenschaltung ausreicht. Beide Stufen sind in sich ebenfalls durch nicht überbrückte Emitterwiderstände gegengekoppelt.

Die Transistoren der ersten Stufen des Verstärkers sind pnp-Typen, die mit negativer Emitter- und positiver Kollektorspannung arbeiten. Auf der Schaltzeichnung liegt deshalb auch — im Gegensatz zur Schaltung des Klein-Transistorverstärkers, der ausschließlich mit npn-Transistoren bestückt ist — die Masse auf negativem und die obere Zuleitung auf positivem Potential. Die vier Stufen werden aus einem gesonderten Netzteil mit einer stabilisierten Spannung versorgt, mit der auch der Vorverstärker betrieben wird. Um gegenseitige Beeinflussung auszuschalten, besitzt jede Stufe ein Siebglied in der Kollektorzuleitung aus einem Widerstand und einem Kondensator hoher Kapazität gegen Masse.

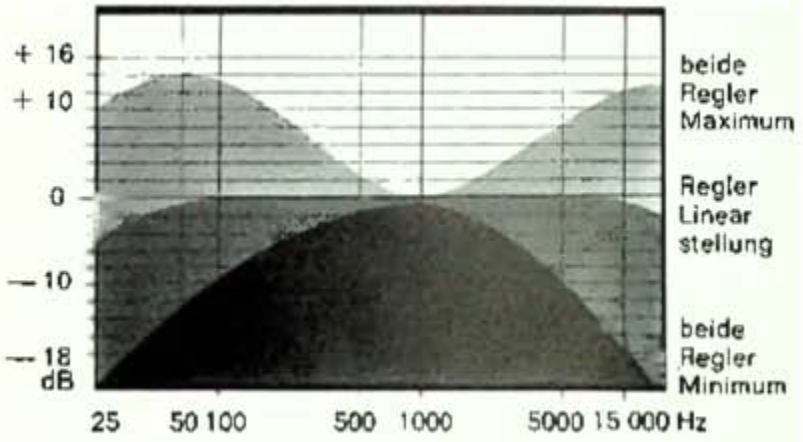
Aufbau und Arbeitsweise der Schaltung der eisenlosen Endstufe unterscheiden sich praktisch nicht von der, die bereits beschrieben wurde. Der Vortransistor T 1 ist hier zwar auch ein npn-Typ. Die npn-Transistoren, die als Treiber arbeiten, sind gegenüber der Schaltung auf Seite 61 gegeneinander vertauscht eingesetzt. Dies ist wegen der umgekehrten Polung der Spannungsversorgung notwendig, denn sonst wären beide Transistoren verkehrt gepolt geschaltet. Ebenso ist auch die Polung der beiden Endtransistoren, die npn-Typen sind, umgekehrt: ihre Kollektoren weisen hier gegen die Masse, denn das ist die Minusleitung.

Diese umgekehrten Polungen ändern jedoch nichts an der Funktion der Endstufe. Sie wird auch auf gleiche Art eingetrimmt. Die symmetrische Aussteuerung wird mit dem Trimmer R 30 eingestellt, der hier statt der Emittervorspannung die Basisvorspannung verändert. Zum Einstellen des Ruhestromes dient R 34.

Die Endstufenschaltung ist — ebenso wie die auf Seite 61 kräftig in sich gegengekoppelt. Die Gegenkopplung wird auf die Emitter der Treiber, die Basisspannung des Vortransistors, und über eine gesonderte Gegenkopplungsleitung auf die Basis des Vortransistors gegeben. Der Verstärker kann mit dem Netzteil betrieben werden, das auf Seite 65 dargestellt ist. Natürlich lassen sich die Betriebsspannungen auch, wie beschrieben, von einer Pufferbatterie abgreifen.

Der Vorverstärker ist einstufig in Emitterschaltung, bestückt mit einem rauscharmen npn-Transistor und übersteuerungsfest eingestellt. Der Eingangswiderstand beträgt etwa 2 kOhm und die Eingangsempfindlichkeit 2 mV für den zur Vollaussteuerung des Hauptverstärkers notwendigen 50 mV am hochohmigen Eingang.

Im Eingang des Klangregelnetzwerkes liegt das als zweigliedriges Hochpaßfilter wirkende Rumpelfilter, das die tiefen Frequenzen unter etwa 200 Hz etwa um —10 dB (auf den 10. Teil) absenkt und so tiefe rumpelnde Geräusche, die von Tonarmbewegungen auf nicht völlig ebenen Schallplatten oder von kleinen



Frequenzgang des großen Hi-Fi Verstärkers und die Wirkung der Klangregelung.

Lautungenauigkeiten herrühren könnten, stark dämpft. Bei nicht gedrückter Rumpeltaste ist das Filter kurzgeschlossen. Das Rauschfilter ist ein zweigliedriger Hochpaß, der Frequenzen besonders über 7 kHz absenkt und dabei Rauschgeräusche bei der Wiedergabe verstaubter und etwas abgenutzter Platten dämpft. Die Regelbereiche des Rumpel- und des Rauschfilters sind erheblich kleiner als die des Baß- und des Höhenreglers. Diese beiden Regler lassen nur den Frequenzbereich zwischen etwa 700 und 1000 Hz unbeeinflußt, während die Dämpfung des Rumpelfilters nach abwärts erst nach etwa 250 Hz einsetzt und die des

Rauschfilters nach aufwärts bei etwa 2500 Hz wirksam wird.

Auch das Rauschfilter ist bei nicht gedrückter Taste kurzgeschlossen. Die Bauteile der beiden Filter werden direkt an das Drucktastenaggregat angelötet.

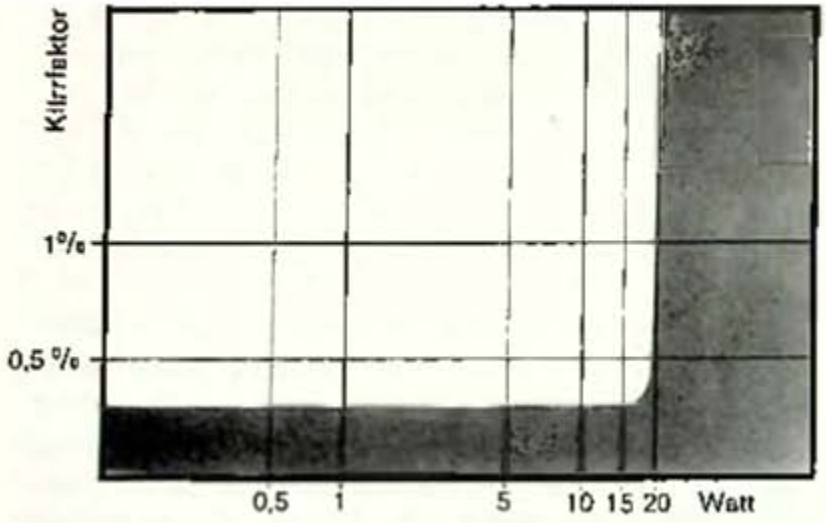
An das Rauschfilter schließt sich das eigentliche Klangregelnetzwerk mit Baß- und Höhenregler an. Mit der Taste des Präzenzschalters kann das Regelnetzwerk kurzgeschlossen werden. Dann werden die in ihm auftretenden Verluste vermieden, so daß an sich am Netzwerkausgang eine höhere NF-Spannung stehen würde. Innerhalb der Kurzschlußleitung befindet sich deshalb ein R-C-Glied, das die tieferen und mittleren Frequenzen auf den Wert dämpft, der bei Mittelstellung beider Klangregel-Potentiometer am Netzwerkausgang stehen würde. Dadurch ergibt sich eine leichte Anhebung der Frequenzen über etwa 1000 Hz bis zu den höchsten Frequenzen. Die Wiedergabe erhält dadurch eine schärfere Klangfarbe, die besonders die Sprachwiedergabe eindrucksvoll macht.

Der Balanceregler bildet einen veränderlichen Spannungsteiler, der den NF-Ausgang belastet. Je nach Stellung des Reglers wird die Steuerspannung für die nachfolgenden Stufen des einen oder des anderen Kanals mehr oder weniger reduziert.

Der hochohmige Eingang des Hauptverstärkers kann drei verschiedene Eingangsbuchsen, die gegeneinander entkoppelt sind, besitzen: für Kristalltonabnehmer, für Rundfunkdiodenanschluß und für Tonbandgerät. An den Eingang des Vorverstärkers können zwei entkoppelte Buchsen geschaltet werden, eine für den dynamischen Tonabnehmer und die andere für ein dynamisches Mikrofon. In der Schaltzeichnung besitzt jeder Eingang nur eine Buchse, um die Eingangschaltungen auf den Seiten 38 bis 42 nicht wiederholen zu müssen.

Als Stereo-Verstärker aufgebaut hat das Gerät zwanzig Transistoren. Absolute Spitzengeräte seiner Klasse haben 30 und mehr. Aber einige Transistoren und Schalter mehr für den Bedienungskomfort können auch keine großen Verbesserungen mehr bringen, dagegen höhere Preise — und Umschaltmöglichkeiten für alle erdenklichen Arten der Verwendung. Die sind aber bei einem Selbstbaugerät unnötig, da es immer für die jeweilige Verwendung, für die es vorgesehen ist, hergerichtet werden kann. Leute, die diese individuellen Verwendungsmöglichkeiten nicht sehen und dafür jeweils eine besondere Anleitung brauchen, sollten sich nicht mit Selbstbaugeräten abgeben.

Der Verstärker hat einen völlig geradlinigen Frequenzgang zwischen etwa 100 und 5000 Hz. Außerhalb dieser Bereiche — abwärts bis 30 Hz und aufwärts bis 20 000 Hz — ist der Abfall kleiner als 4 dB, ein Dämpfungsgrad, der schon durch geringfügige Verstellung des Baß- und des Höhenreglers völlig ausgeglichen wird, so daß zwischen etwa 40 Hz und 20 000 Hz der



Der Klirrfaktor des großen Hi-Fi-Verstärkers liegt bis knapp unter 20 Watt Ausgangsleistung unter 0,5 % und bleibt damit weit unter der Grenze der Wahrnehmbarkeit.

Frequenzgang völlig linear ist. Der Klirrfaktor beträgt konstant 0,3 % bei allen Ausgangsleistungen bis 16 Watt pro Kanal. Dieses Restklirren ist nicht vernehmbar. Bei 20 Watt ist der Klirrfaktor noch immer kleiner als 0,7 % und liegt unter der Hörbarkeitsgrenze. Über 20 Watt Ausgangsleistung steigt er dann rasch an.
Das reicht bereits zum Beschallen von Gartenterrassen, Versammlungs- und Konzerträumen, Tanzlokalen und größeren Gaststätten.

Der Verstärker bringt bei der Wiedergabe absolute Hi-Fi-Qualität — allerdings nur, wenn er gut aufgebaut und getrimmt ist.
Er kann mit allen Lautsprecherschaltungen von 4 oder 5 Ohm Impedanz betrieben werden. Die volle Wiedergabequalität zeigt sich allerdings nur mit Hi-Fi-Lautsprechern. Sie brauchen pro Kanal nicht 20 Watt Höchstbelastbarkeit zu haben, wenn der Verstärker nicht mit voller Ausgangsleistung betrieben werden soll.
Technisch völlig belanglos ist die Art des Einbaus der betriebsfertigen Verstärkerschaltungen in Gehäuse. Passende Metallgehäuse sind in verschiedenen Formaten erhältlich. Manchmal sind sie nicht besonders schön gestaltet und haben ein sehr technisches Aussehen. In Schubladen, Möbelfächer und dergleichen kann man solch einen Verstärker ohne gesondertes Gehäuse montieren. Für die Schalter und Drehknöpfe der Potentiometer muß dann die Vorderwand entsprechend durchbohrt werden.
Wichtig ist nur, daß Netzteil-Transformatoren nicht in unmittelbarer Nähe der Eingangsstufen und der Vorverstärker montiert werden und daß alle längeren NF-Leitungen zwischen Anschlußbuchsen und der Schaltung und zum Klangregelnetzwerk mit abgeschirmter NF-Litze ausgeführt werden. Für die Lautsprecherzuleitungen sind keine abgeschirmten Kabel notwendig. Man nimmt für sie stärkeres zweiadriges Netzkabel.

100-Volt-Technik

Ein Verstärker mit 20 Watt Ausgangsleistung pro Kanal reicht aus, um mehrere Räume gleichzeitig zu beschallen, z. B. bei Festlichkeiten die in mehreren Räumen gleichzeitig stattfinden. In solchen Fällen braucht man mehr als zwei Lautsprecher.
Aber mehrere Lautsprecher oder mit Weichen verschaltete Lautsprechergruppen mit einer Impedanz von 4 oder 5 Ohm darf man nicht ohne weiteres parallel an einen Lautsprecherausgang des Verstärkers schalten. Die Endstufe ist immer auf 4 oder 5 Ohm Impedanz bei 1000 Hz ausgelegt. Zwei parallel geschaltete Lautsprecher von 5 Ohm hätten aber nur eine Impedanz von 2,5 Ohm. Die Lautsprecher wären dann fehlerhaft angepaßt. Fehlanpassung bedeutet immer mangelhafte Leistungsübertragung.
An einen 5-Ohm-Lautsprecherausgang könnte man jedoch zwei Lautsprecher von 10 Ohm Impedanz parallel anschließen. Aber solche Lautsprechersysteme sind nicht üblich. Eine weitere Möglichkeit wäre das Hintereinanderschalten von zwei 5-Ohm-Lautsprechern, die dann eine Gesamtimpedanz von 10 Ohm haben. Zwei solche Reihen von je 2 Lautsprechern könnte man an einen 5-Ohm-Ausgang parallel anschließen. An den Ausgang müßten also zusammen 4 Lautsprecher. Ideal ist das nicht, denn die erhöhte Induktivität zweier in Reihe geschalteter Schwingspulen bedämpft die Wiedergabe der hohen Frequenzen.
Zum Anschluß mehrerer Lautsprecher an einen Lautsprecherausgang des Verstärkers bedient man sich deshalb der sogenannten 100-Volt-Technik. Die NF am Lautsprecherausgang wird zunächst so hochtransformiert, daß sie, bei 30 Watt übertragener Leistung, eine Spannung von rund 100 Volt erreicht. Die Impedanz wird also erhöht. Bei einer hohen Impedanz ist eine Fehlanpassung um einige Ohm praktisch bedeutungslos.
Hinter den Lautsprecherausgang kommt dazu ein Spezialtrafo, der die Ausgangsimpedanz von 5 auf 500 Ohm heraufsetzt. Im Prinzip arbeitet dieser Trafo genau umgekehrt wie der Lautsprechertrafo in einer Röhrenendstufe.
An die Klemmen der Sekundärwicklung dieses 500-Ohm-Trafos können nun mehrere Abwärts-Übertrager für je einen Lautsprecher angeschlossen werden. Diese Abwärtsübertrager haben hochohmige Primärwicklungen und passen den jeweils an sie angeschlossenen Lautsprecher an die Impedanz von 500 Ohm in der Übertragungsleitung an. Um verschiedene Kombinationsmöglichkeiten zu erhalten, besitzen die Abwärts-Transformatoren hochohmige Primärwicklungen mit Abgriffen. Zum Beispiel hat der Abwärtsübertrager AT 2 von Grundig eine Primärwicklung von 2000 Ohm mit einem Abgriff bei 1000 Ohm. Man kann entweder

2 solche Abwärtsübertrager mit je einem Lautsprecher über ihren 1000-Ohm-Abgriff oder 4 Übertrager mit je einem Lautsprecher mit der gesamten Primärwicklung von 2000 Ohm parallel an den Aufwärtsübertrager am Lautsprecherausgang schalten, denn zwei 1000-Ohm-Wicklungen parallel ergeben ebenso wie vier 2000-Ohm-Wicklungen eine Gesamtimpedanz von 500 Ohm. An einen Stereoverstärker können somit über das Übertragersystem insgesamt 4 oder 8 Einzellautsprecher angeschlossen werden.

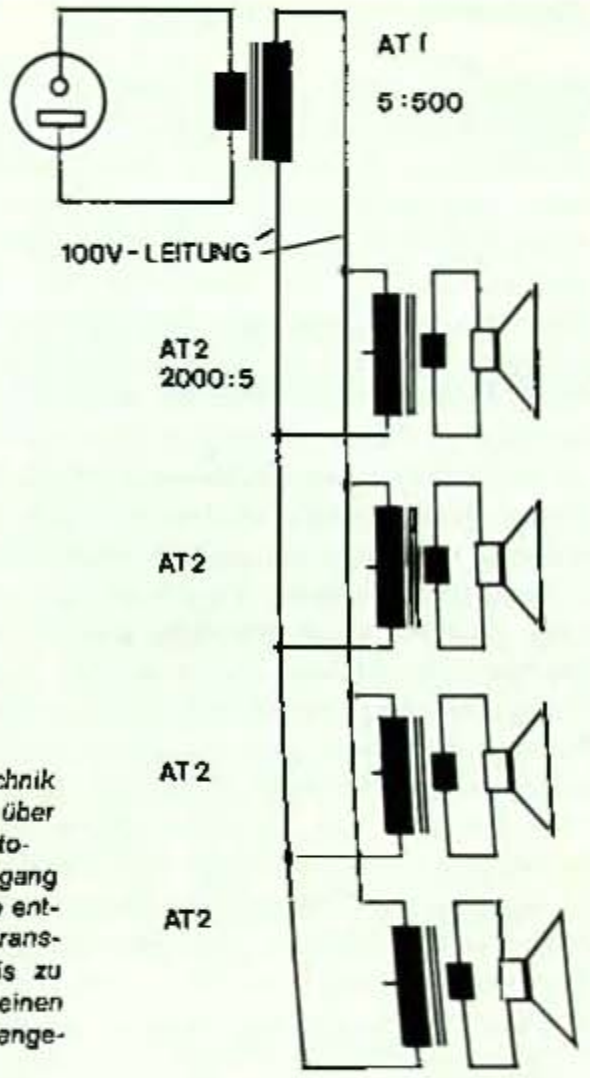
Mit hochohmigeren Abwärtsübertragern können aber noch viel mehr Einzellautsprecher gleichzeitig betrieben werden. Der Abwärtstrafo AT 3 hat primärseitig eine 8000-Ohm-Wicklung und ebenfalls eine 5-Ohm-Wicklung sekundär. Die hochohmige Wicklung hat Abgriffe bei 4000 und bei 2000 Ohm. Damit gibt es folgende Möglichkeiten: Bei Benutzung des 2000-Ohm-Abgriffs können vier AT 3 mit je einem Lautsprecher an einen Aufwärtstrafo eines Lautsprecherausgangs geschaltet werden. Oder acht bei Benutzung des 4000-Ohm-Abgriffs. Oder sechzehn, wenn jeweils die ganze Primärwicklung an die 100-Volt-Leitung gelegt wird. Das sind dann insgesamt 32 Lautsprecher an einem Stereoverstärker. Mit denen kommt man selbst in einem sehr verzweigten Lokal in jede Sitznische.

Allerdings wird bei mehreren Lautsprechern an einem Ausgang auch die zur Verfügung stehende Ausgangsleistung aufgeteilt. Hängen über das Übertragungssystem 4 Lautsprecher an einem Ausgang, so kommen bei 20 Watt Ausgangsleistung auf jeden Lautsprecher noch 5 Watt. Vier akustisch geschickt verteilte Lautsprecher mit je 5 Watt Leistung können erheblich lauter wirken als ein einziger mit 20 Watt, besonders in Räumen mit vielen Personen, die sich unterhalten.

Hängen 16 Lautsprecher an einem Ausgang, so entfällt auf jeden einzelnen immer noch mehr als 1,2 Watt, erheblich mehr als Zimmerlautstärke. Bei einem verteilten Beschallungssystem für Räume mit mehreren Sitzecken und Tischen kommt es auch nicht darauf an, eine möglichst hohe Gesamtlautstärke zu erzielen. Der Zweck der Anlage ist dann, jede Personengruppe einzeln zu beschallen, nicht zu laut, aber aus unmittelbarer Nähe, so daß der Gesprächslärm der übrigen Personen im Raum die Übertragung nicht stört. Die Beschallung schafft für jede Personengruppe einen akustischen Vorhang. Man hört nicht mehr, was am Nebentisch gesprochen wird und kann dort nicht mehr gehört werden. Die Beschallung schafft das Gefühl, unter sich zu sein.

Man kann aber auch noch weiter kombinieren und je nach Erfordernis stärkere und schwächere Lautsprecher zu einem Netz zusammenschalten. Zum Beispiel können vier AT 3 mit Lautsprechern mittels des 4000-Ohm-Abgriffes und weitere acht AT 3 mittels der 8000-Ohm-Klemmen zusammengeschaltet werden. Es wäre sehr langweilig, alle Kombinationsmöglich-

keiten hier einzeln aufzuzählen. Es gibt einige Dutzend. Man kann sie selbst herausfinden. Zu beachten ist lediglich, daß die sich ergebende Primär-Gesamtimpedanz der Abwärtsübertrager der Sekundärimpedanz des Aufwärtsübertragers entsprechen muß. Das braucht man aber nicht allzu streng einzuhalten. Wenn statt 16 Abwärtsübertragern mit je 8000-Ohm-Primärimpedanz nur 15 im Übertragungsnetz hängen — oder auch 18 — so ergibt das eine wesentlich geringere Fehlanpassung als wenn an einen 5-Ohm-Lautsprecherausgang ein Lautsprecher mit 4 Ohm gehängt wird. Die Spezialtrafos für Lautsprechernetze nach der 100-Volt-Technik haben einen Übertragungsbereich von 40 bis 15 000 Hz. Sie arbeiten praktisch verzerrungsfrei und sind nicht teuer. Der Aufwärtstrafo für den Lautsprecherausgang führt bei Grundig die Bezeichnung AT 1.



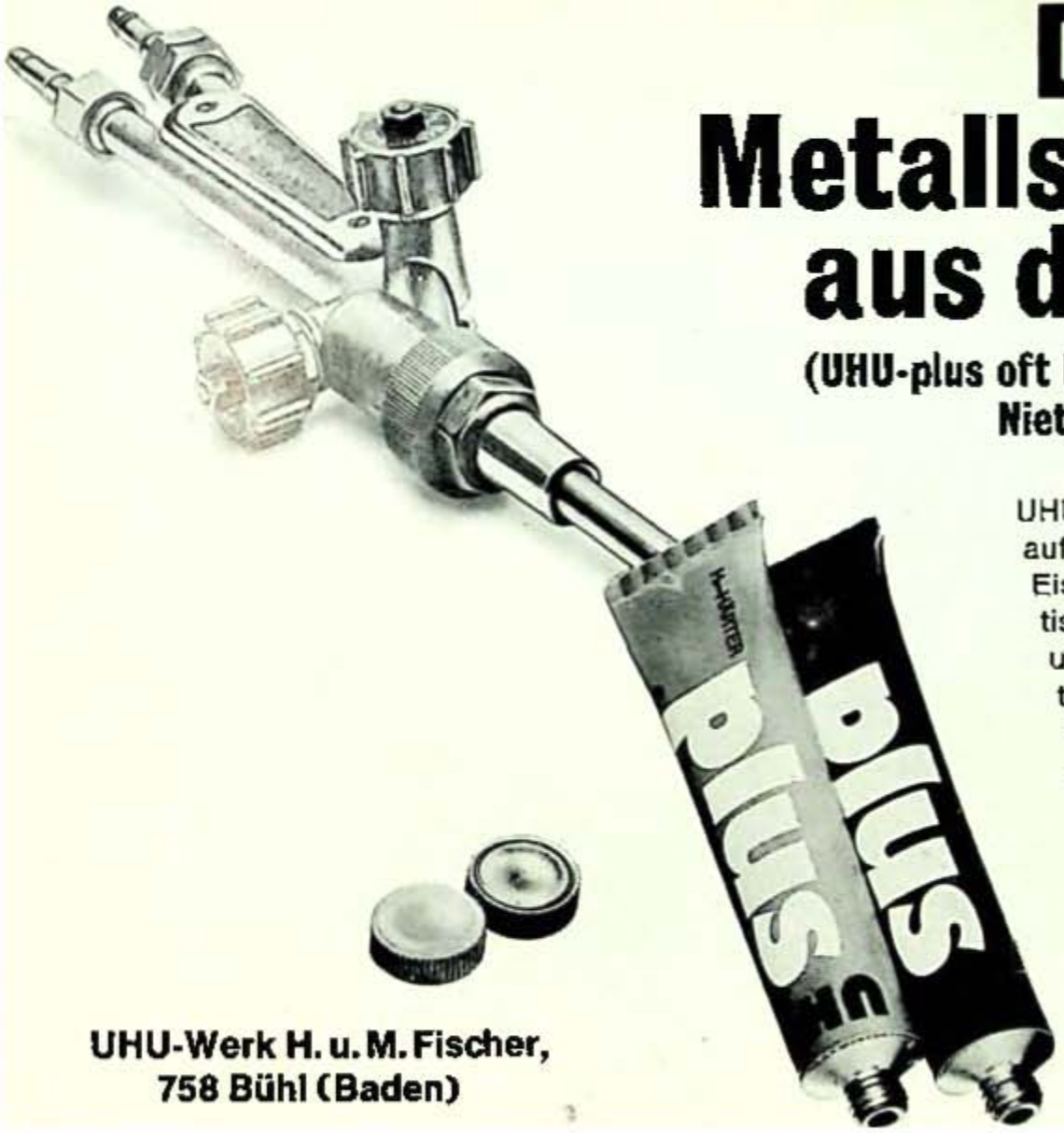
Prinzip der 100-V-Technik mit 4 Lautsprechern über Anpassungstransformatoren an einen Kanalausgang des Verstärkers. Durch entsprechende Wahl von Transformatoren können bis zu 16 Lautsprecher an einen Lautsprecherausgang angepaßt werden.

Die Grenzen der Stereophonie

Eine Stereo-Wirkung bei stereophoner Übertragung ergibt sich nur, wenn der Zuhörer die Lautsprecherabstrahlungen beider Kanäle etwa gleichstark hören kann. Bei Netzen mit mehreren verteilten Lautsprechern in Räumen, in denen sich die Menschen in Gruppen aufhalten, ist das meist nicht der Fall. Stereo wirkt nur, wenn man der Darbietung einigermaßen aufmerksam zuhört. Als Begleitmusik hat Stereo wenig Sinn. Menschen, die noch mit anderen Dingen beschäftigt sind als mit Zuhören, sich unterhalten oder tanzen, achten nicht auf Stereoeffekte. Es bringt daher keinen Gewinn, wenn man bei Parties, in Gaststättenräumen, in Tanzlokalen, auf Gartenterrassen und bei Hochzeitsgesellschaften die Musik stereophon überträgt. Es kann sogar schädlich sein. In verzweigten Räumen mit Nischen und mehreren Lautsprechern können sich bei stereophoner Wiedergabe durch die Phasenunterschiede und die verschiedenen Signallaufzeiten unerwünschte Tondämpfungen und Auslöschungen ergeben. Orchester hören sich dann an, als hätten die Musiker einige Instrumente vergessen. Das ist dann das Gegenteil von Stereo.

Große Vorteile hat aber die Stereophonie bei der Schmalfilmvertonung über ein Stereo-Tonbandgerät. Wenn Sprache und Begleitgeräusche aus den Richtungen kommen, die dem jeweiligen Bildmotiv entsprechen, erhöht dies die Unmittelbarkeit des Eindrucks erheblich. Der Zuschauer empfindet dies meist nicht bewußt als räumlich gegliederten Klang, sondern überträgt die Räumlichkeit automatisch auf das Bild. Man kann bei der Vertonung übertrieben starke Stereoeffekte anwenden, muß aber äußerst konsequent vorgehen. Bei einem Dialog zwischen zwei Personen muß der Sprachtext exakt aus der Richtung des Redners auf dem Bild kommen. Die Geräusche vorbeiziehender lauter Gegenstände, etwa die eines Kraftfahrzeugs oder Flugzeugs, müssen genau in der Geschwindigkeit des Abbildes vom einem zum anderen Lautsprecher rechts und links der Leinwand überwechseln. Werden hierbei die Seiten verkehrt, so wirkt das fast als Schock. Gegenstände können gegebenenfalls aus der Richtung weiterlärmen, in die sie verschwunden sind. Der Zuschauer empfindet Objekte, deren Geräusche er weiter hört, als gegenwärtig, auch wenn sie schon vom Bild verschwunden sind. Die Wirkung ist genau die gleiche wie ein Off-Text im Film: die Sprache einer Person, die momentan nicht auf dem Bild zu sehen ist, von deren Anwesenheit man jedoch weiß. Die erzielbaren Wirkungen gehören schon in den Bereich eines Drehbuches, und es empfiehlt sich auch, den Ton- und Geräuschablauf nach dem geschnittenen Filmmaterial drehbuchartig festzulegen. Anleitungen hierfür zu geben ist aber unmöglich. Was sich erreichen läßt, hängt fast ausschließlich von Einfällen ab.

BIBLIOTHEEK
N.V.H.R.



Der Metallschweißer aus der Tube

(UHU-plus oft besser als Löten, Nieten, Schrauben, Schweißen!)

UHU-plus klebt nicht nur Stahl auf Stahl oder Aluminium auf Eisen. Es „verschweißt" praktisch alles unlösbar mit- und untereinander. Von Buntmetallen bis zu gehärteten Kunststoffen. Von Bakelit bis zu Porzellan. Die Festigkeit der Klebung beträgt max. 300 kg pro cm². Ein Plus um die verschiedensten Werkstoffe bombenfest zu verbinden.

UHU plus®

UHU-Werk H. u. M. Fischer,
758 Bühl (Baden)

TOPP

Der erste große Fortschritt in der Übertragungstechnik seit der Einführung des UKW-Rundfunks ist die Stereotechnik. Obwohl Stereo seither zum Modewort geworden ist, wissen nur wenige über seine Technik und über seine Gesetze Bescheid. Dem will Hans Dieter Heck mit diesem Buch abhelfen. Seine wichtigsten Themen: Hi-Fi, Gegenkopplung, Stereo-Batterieverstärker, Vorverstärker, Balanceregler, Klangregel-Netzwerk, Stromversorgung, Lautsprecherboxen, Tonfilter, Schallwand, Industrie-Bausteine, 100-Volt-Technik usw.